

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри МАХНВ  
\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко  
(підпис)  
“    ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**  
**з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування**  
**спеціалізація: Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв**

**на тему: Модернізація установки виробництва глютамінової кислоти з розробкою ферментера та випарного апарату**

**Виконала студентка 6-го курсу, групи ЛН-71мп**

Новікова Юлія Петрівна

**Керівник проекту** канд. техн. наук, доц. О.Г. Зубрій

**Консультанти:**

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доц. І.М. Ковтун

\_\_\_\_\_  
(підпис)

розробка стартап-проекту

канд. економ. наук, доц. Н.В. Юдіна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

технологія виготовлення трубної плити теплообмінника

ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос

\_\_\_\_\_  
(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук, доц. А.Р. Степанюк

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент**

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий степінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ Ю.П. Новікова

Київ – 2018

## Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....	12
Вступ.....	16
1 Призначення та область використання установки виробництва глютамінової кислоти .....	17
1.1 Опис технологічного процесу.....	17
1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі .....	19
2 Технічні характеристики основних апаратів установки .....	20
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів.....	22
3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей.....	22
3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами .....	26
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів .....	28
3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки .....	28
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій ..	41
4.1 Розрахунок ферментера .....	41
4.1.1 Вибір ферментеру та визначення його характеристик.....	41
4.1.2 Розрахунок геометричних параметрів ферментеру .....	42
4.1.3 Розрахунок необхідної кількості кисню для забезпечення заданої продуктивності ферментатора .....	45
4.1.4 Розрахунок потужності приводу при перемішуванні турбіною мішалкою .....	47
4.1.5 Розрахунок глибини воронки.....	49
4.1.6 Розрахунок коефіцієнта масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідині .....	51

4.1.7 Розрахунок коефіцієнта масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідині пропелерна мішалка .....	54
4.1.8 Розрахунок коефіцієнта масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідині рамна мішалка.....	58
4.1.9 Розрахунок геометричних розмірів барботера.....	61
4.1.10 Розрахунок теплового навантаження ферментатора.....	63
4.1.11 Розрахунок поверхні теплообміну .....	68
4.1.12 Розрахунок гідравлічного опору .....	70
4.1.13 Розрахунок циліндричної обичайки апарата на дію внутрішнього тиску.....	72
4.1.14 Розрахунок циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском, осьовою стискаючою силою, та згинаючим моментом .....	74
4.1.15 Розрахунок еліптичного днища та еліптичної кришки.....	76
4.1.16 Розрахунок штуцерів .....	78
4.1.17 Вибір опори ферментера .....	80
4.1.18 Розрахунок сальникового ущільнення з м'якою набивкою .....	82
4.1.19 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість.....	86
4.1.20 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість .....	89
4.1.21 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на міцність..	94
4.2 Розрахунок випарного апарату .....	97
4.2.1 Розрахунок матеріального балансу випарного апарату .....	97
4.2.2 Розрахунок теплового балансу .....	98
4.2.3 Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі.....	99
4.2.4 Конструктивний розрахунок випарного апарату.....	104
4.2.5 Розрахунок еліптичного днища випарного апарату під дією зовнішнього тиску.....	107

4.2.6 Розрахунок еліптичного днища сепаратора випарного апарату під дією зовнішнього тиску.....	108
4.2.7 Розрахунок циліндричної обичайки оболонки гріючої камери випарного апарату апарата на дію внутрішнього тиску .....	110
4.2.8 Розрахунок штуцерів .....	112
4.2.9 Розрахунок трубної решітки випарного апарату .....	113
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	120
6 Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки виробництва глютамінової кислоти .....	131
7 Рівень стандартизації та уніфікації .....	133
8 Розроблення стартап-проекту .....	135
8.1 Опис ідеї проекту .....	135
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	135
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	138
8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту.....	149
8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	151
8.6 Висновки до розділу .....	155
Висновки .....	156
Выводы.....	157
Conclusion.....	158
Перелік посилань .....	159
Додаток А Технологія виготовлення втулки конусної муфти ферментера .....	164
Додаток Б Автоматичний контроль і керування процесом .....	187
Додаток В Документація до патентного дослідження .....	198
Додаток Г Комп'ютерний розрахунок циліндричної обичайки апарата на дію внутрішнього тиску .....	209
Додаток Д Патенти, які використані в патентному дослідженні .....	214
Додаток Е Публікації автора.....	232

## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

$G$  – масова продуктивність, кг/с;

$\tau$  – час роботи цеху, днів;

$\tau_p$  – час роботи ферментеру, с;

$K_3$  – коефіцієнт заповнення ферментера;

$p$  – тиск, МПа;

$F$  – площа поверхні, м<sup>2</sup>;

$V_{\text{заг}}$  – повний об'єм ферментера, м<sup>3</sup>;

$V_p$  – робочий об'єм ферментера, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{ц}}$  – об'єм циліндричної частини, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{дн}}$  – об'єм днища, м<sup>3</sup>;

$S$  – товщина, м;

$C_{\text{гк}}$  – концентрація глютамінової кислоти на виході;

$G_{\text{гк}}$  – масова продуктивність одного ферментера, кг/с;

$G_{\text{O}_2}$  – масова витрата кисню, кг/с;

$G_{\text{пов}}$  – масова витрата повітря, кг/с;

$G_{\text{в}}$  – масова витрата води, кг/с;

$n_{\text{ф}}$  – кількість ферментерів;

$m_y$  – число ярусів мішалки;

$\mu_{\text{в}}$  – коефіцієнт динамічної в'язкості води, Па·с;

$\mu_{\text{пс}}$  – коефіцієнт динамічної в'язкості поживного середовища, Па·с;

$\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м<sup>2</sup>/с;

$\rho_{\text{с}}$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{в}}$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{пс}}$  – густина поживного середовища, кг/м<sup>3</sup>;

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		

$\rho_m$  – густина м'яса, кг/м<sup>3</sup>;

$x_b$  – масова доля води;

$x_m$  – масова доля м'яса;

$c_b$  – теплоємність води, Дж/(кг·К);

$c_{пс}$  – теплоємність поживного середовища, Дж/(кг·К);

$\lambda_b$  – коефіцієнт теплопровідності води, Вт/(м·К);

$\lambda_{пс}$  – коефіцієнт теплопровідності поживного середовища, Вт/(м·К);

$\lambda_m$  – коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/(м·К);

$n$  – кількість обертів мішалки, об/с;

$a$  – питома поверхня газових бульбашок, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$Q_p$  – теплота, що виділяється при утворенні глютамінової кислоти, Вт;

$Q_{пов}$  – теплота, що відводиться повітрям, Вт;

$Q_{вод}$  – теплота, що відводиться водою, Вт;

$H_{прод}$  – ентальпія продуктів реакції, кДж/моль;

$H_{комп}$  – ентальпія речовин, що беруть участь в реакції, кДж/моль;

$W_r$  – приведена швидкість повітря в апараті, м/с;

$U_n$  – швидкість спливання газових бульбашок, м/с;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$D_{вн}$  – внутрішній діаметр ферментера, м ;

$D_{об}$  – внутрішній діаметр оболоні, м ;

$d_m$  – діаметр мішалки, м ;

$d_b$  – діаметр бульбашок повітря, м ;

$\beta_{ж}$  – поверхневий коефіцієнт масовіддачі, кг/м<sup>2</sup>·с

$H_{ц}$  – висота циліндричної обичайки, м;

$H_{заг}$  – висота загальна ферментера, м;

$H_{ел}$  – висота еліптичної частини днища, м;

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		

$H_p$  – висота рідини в ферментері, м;

$E$  – модуль пружності, МПа;

$\sigma$  – напруження в матеріалі, МПа;

$[\sigma]$  – допустиме напруження, МПа;

$\delta$  – товщина стінки апарата, м;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$I$  – момент інерції, м<sup>4</sup>;

$t_1$  – температура води на вході в оболонь, К;

$t_2$  – температура води на виході з оболоні, К;

$t$  – температура поживного середовища, К;

$N_p$  – потужність, що витрачається як перемішування гомогенної рідини, Вт;

$N_{гр}$  – потужність, що витрачається на перемішування газорідинної суміші, Вт;

$N_{min}$  – потужність, мінімальна двигуна приводу, Вт;

$M_{дн}$  – маса днища апарата, кг;

$M_{вод}$  – маса води, кг;

$M_{вал}$  – маса вала апарата, кг;

$M_{пр}$  – маса приводу апарата, кг;

$M_{міш}$  – маса мішалки апарата, кг;

$M_{ап}$  – маса апарата, кг;

$M_{муф}$  – маса муфти апарата, кг;

$\omega$  – кутова швидкість, рад/с;

$G_n$  – початкова кількість речовини, яка потупає на випарювання, кг/с;

$x_b$  – початкова концентрація, %;

$x_m$  – кінцева концентрація, %;

$G_k$  – продуктивність по випареному розчину, кг/с;

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		

$W$  – продуктивність по випареній воді, кг/с;

$t_{\text{вп}}$  – температура вторинних парів, К;

$t_1$  – початкова температура розчину, К;

$t_{\text{кип}}$  – температура кипіння розчину, К;

$t_{\text{гп}}$  – температура граючої пари, К;

$t_{\text{конд}}$  – температура плівки конденсату, К;

$t_{\text{ст}}$  – температура стінки, К;

$r_{\text{гп}}$  – питома теплота утворення граючої пари, Дж/кг;

$r_{\text{вп}}$  – питома теплота утворення вторинних парів, Дж/кг;

$i_{\text{вп}}$  – питома ентальпія вторинної пари, Дж/кг;

$\Gamma$  – щільність зрошення, кг/(м<sup>2</sup> с);

$D_{\text{к}}$  – внутрішній діаметр граючої камери, м ;

$D_{\text{с}}$  – внутрішній діаметр сепаратора, м ;

Критерії:

$Pr$  – критерій Прандтля;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Re_{\text{цб}}$  – відцентровий критерій Рейнольдса;

$Gr$  – критерій Грандсгоффа;

$Nu$  – критерій Нусельта.



## Вступ

Однією з найважливіших амінокислот рослинних та тваринних білків є глутамінова кислота. Її використовують як медичний препарат, при психічних захворюваннях та розладах нервової системи; соль глутамінової кислоти – глутамат натрію використовують, як добавку до харчових продуктів. Попит на глутамінову кислоту зростає, тому виробництво потребує розвитку технологій, вдосконалення техніки.

Метою даної магістерської дисертації є модернізація установки виробництва глутамінової кислоти з розробкою ферментера та випарного апарату. З цією метою передбачено виконання необхідних розрахунків ферментера з перемішуючим пристроєм для приготування суміші з поживного середовища, води та інокулянта, випарного апарату для упарювання розчину.

Робота включає аналіз технологічного процесу з описом та обґрунтуванням обраних конструкцій апаратів та їх місце в технологічній схемі, технічні характеристики вибраних апаратів, порівняння основних показників обраних конструкцій з аналогами, патентний огляд конструкцій, вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів, забезпечення та перевірку відповідності розроблюваних апаратів до вимог охорони праці, проведення розрахунків, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів, рекомендації щодо їх монтажу та експлуатації, рівень стандартизації та уніфікації, схеми автоматичного керування технологічним процесом установки, розробку та описання технологічного процесу виготовлення деталі (втулка), схеми автоматичного керування технологічним процесом установки, схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

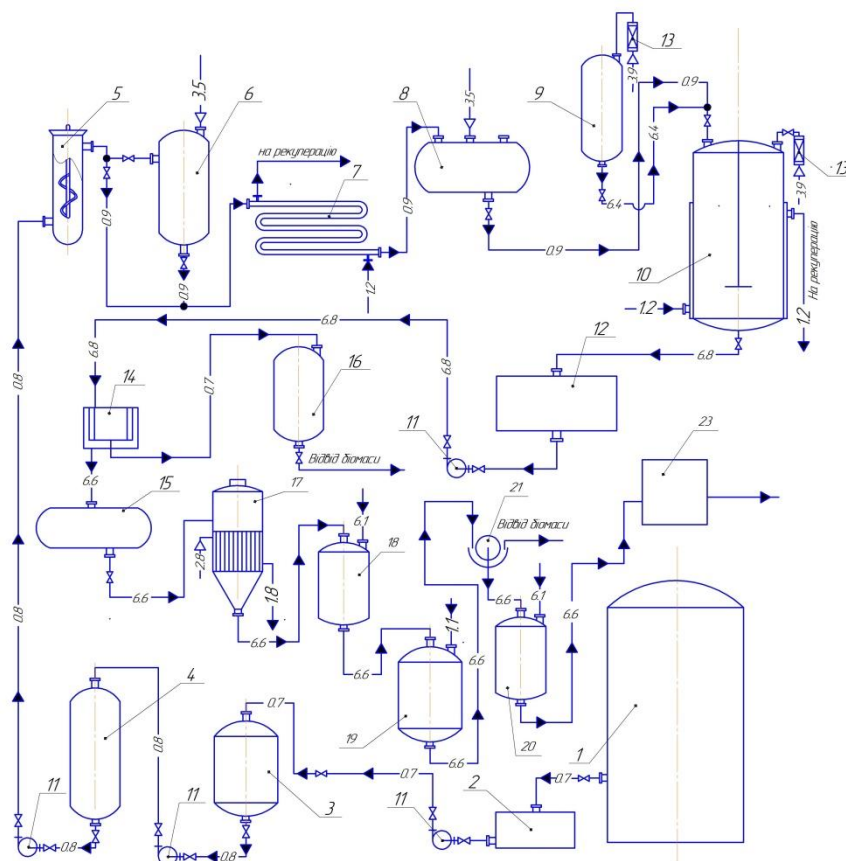
Завдання на магістерську дисертацію одержано 03.09.2018 під час проходження переддипломної практики в ІТТФ НАН України.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		17

# 1 Призначення та область застосування установки виробництва глутамінової килоти

## 1.1 Опис технологічного процесу

Технологічна схема зображена на рисунку 1.1.



- 1 – сховище; 2 – проміжна ємність для м'яса; 3 – реактор-змішувач;  
4 – проміжна ємність; 5 – стерилізаційна колона; 6 – витримувач;  
7 – теплообмінник; 8 – збірник поживного середовища; 9 – інокулятор;  
10 – ферментер; 11 – насос; 12 – збірник культуральної рідини;  
13 – індивідуальний повітряний фільтр; 14 – центрифуга;  
15 – збірник фільтрату; 16 – збірник біомаси; 17 – вакуум-випарний апарат;  
18, 20 – кристалізатор; 19 – реактор-змішувач;  
21 – барабаний-вакуум фільтр; 23 – сушарка

Рисунок 1.1 - Технологічна схема ферментації

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		18

Мелясу завантажують у сховще 1, з якої вона надходить до виробництва. З сховища через проміжну ємність 2 сировина подається до реактора-змішувача 3, в якому спочатку завдяки перемішуванню нагріваються меляса та вода до 75 °С, після в апарат додають компоненти поживного середовища та мінерали. Середовище перемішується протягом 10 хвилин.

З проміжної ємності 4 речовина подається до системи стерилізації. Спочатку середовище надходить до стерилізаційної колони 5, в якій проводиться стереалізація гострою парою, температура якої складає 145 - 150 °С. Нагріте середовище безперервно надходить у витримувач 6, де перебуває на протязі 15 хвилин. Далі середовище охолоджується у холодильнику 7 до температур 32 - 33 °С.

Зі збірника поживного середовища 8 частина поживного середовища потрапляє у інокулятор 9, в якому інокулянт пророщують на протязі 24 годин. Інша частина разом з інокулянтом поступає у ферментер 10. Культуру вирощують у ферментері при 30°C при постійному перемішуванні та аерації на протязі 48-78 годин. Черз індивідуальний повітряний фільтр 13 подається повітря для аерації.

Зі збірник культуральної рідини 12 рідина надходить на центрифугу 14, де відділяють біомасу. Зі збірника фільтрату 15 культуральна рідина потрапляє в вакуум-випарний апарат, де відбувається концентрування при температурі 40-60°C.

В кристалізаторі 18 концентрат підкислюють до рН 3,2 та охолоджується до 15°C з виділенням 80% чистої глютамінової кислоти. Для виділення кристалів більшої частоти в реакторі-змішувачі 19 виділені кристали змішують з водою в співвідношенні 1:5. Після на барабаному вакуум-фільтрі 21 видділяють лишню вологу. В кристалізаторі 20 проводиться повторна кристалізація, після якою отримують до 99% чистих кристалів. В сушарці 23 проводиться сушка глютамінової кислоти.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		19

## 1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

В виробництва глютамінової кислоти головну роль відіграє апарат в якому відбувається продукування кислоти мікроорганізмами – ферментер. При виборі ферментера виходячи з вимог до оптимального розвитку мікрорганізмів: кількість кисню, температура, рН було обрано циліндричний ферментер з еліптичним днищем та кришкою, барботером для підведення повітря, приводом із валом та перемішуючим пристроєм, а також оболонь для підтримання сталої температури всередині.

Описаний вище ферментер задовільняє поставлені вимоги та забезпечує оптимальні умови проведення процесу.

Для концентрування глютамінової кислоти середовище потрапляє в випарний апарат. Було вибрано плівковий вакуум-випарний апарат зв стікаючою плівкою, що дозволить вести концентрування при температурі 40-60°C. Випарний апарат складається з граючої камери та сепаратора. Описаний вище випарний апарат задовільняє поставленим вимогам та забезпечує оптимальні умови проведення процесу концентрації поживного середовища.

Для даної схеми підібрано апарати, які відповідають наступним вимогам: простота конструкції, ремонтодоступність, простота виготовлення, легкість очистки, простота експлуатації.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		

## 2 Технічні характеристики основних апаратів установки

Основні технічні дані та характеристики ферментатора:

1) Призначений для вирощування мікроорганізмів.

2) Об'єм, м

- номінальний 16;

- робочий 11,2.

3) Тиск, МПа

- у апараті при стерилізації 0,3;

- у апараті робочий 0,1;

- у оболонці 0,35.

4) Площа поверхні теплообміну, м 18,754.

5) Температура, К

- робочого середовища 303;

- стерильного повітря 291-293;

- охолоджуючої води 285-301;

- при стерилізації 408-413.

6) Витрати води, кг/с 0,302.

7) Витрати повітря, кг/с 0,0756.

8) Привід 3-7,5-18,63 МН 5858-66.

9) Потужність електродвигуна, кВт 7,5.

10) Частота обертання вала мішалки, с 2,972.

11) Маса виробу у робочому стані, кг 23324.

Основні технічні дані та характеристики випарного апарату:

- 1) Призначений для концентрування культуральної рідини.
- 2) Площа загальної поверхні теплообміну, м<sup>2</sup> 10;
- 3) Продуктивність по рідині, кг/с 0,197;
- 4) Тиск, МПа :  
насиченої пари 0,00738-0,0199;  
у міжтрубному просторі 0,1013;
- 5) Температура, К:  
насиченої пари 373;  
середовища 333;
- 6) Маса виробу у робочому стані, кг 1500;
- 7) Середовище в апараті нетоксичне, корозійне.

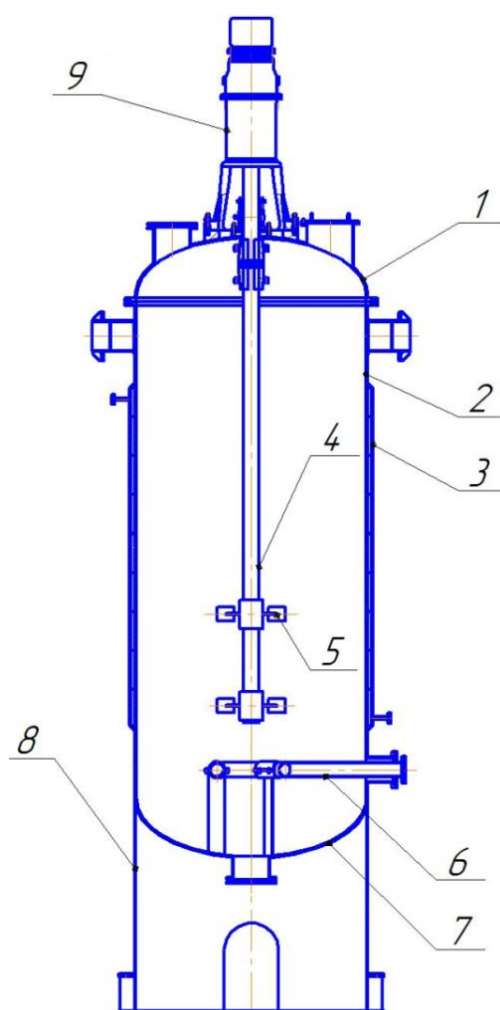
					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
						22
Змн.	Анк.	№ доквм.	Піппис	Лат		

### 3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів

#### 3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

Ферментер

Ферментер схематично зображено на рисунку 3.1.



1 – кришка; 2 – корпус; 3 – оболонь; 4 – вал; 5 – перемішуючий пристрій;

6 – барбортер; 7 – днище; 8 – опора, 9 – привід

Рисунок 3.1 – Схематичне зображення ферментера

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		23

Апарат складається з корпусу 2, еліптичного днища 7 та кришки 1, всередині розташований перемішуючий пристрій 5, що закріплений на валу 4. Всередині знаходиться барботер 6 для подачі повітря. Ферментер оснащений оболонню 3 для відведення тепла, при подачі води.

При вирощуванні мікроорганізмів необхідно підтримувати температуру середовища на рівні  $303\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $30\text{ K}$ ), подачею охолоджуючої води з температурою  $285\text{ K}$  ( $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в оболонь ферментера.

Принцип дії. В апарат завантажують посівний матеріал для вирощування мікроорганізмів та поживне середовище. Для перемішування біомаси в ферментері вмонтований вал з турбіною мішалкою, насичення біомаси киснем забезпечується подачею повітря через барботер. Описана вище конструкція задовольняє поставлені вимоги та забезпечує оптимальні умови процесу для вирощування біомаси.

#### Випарний апарат

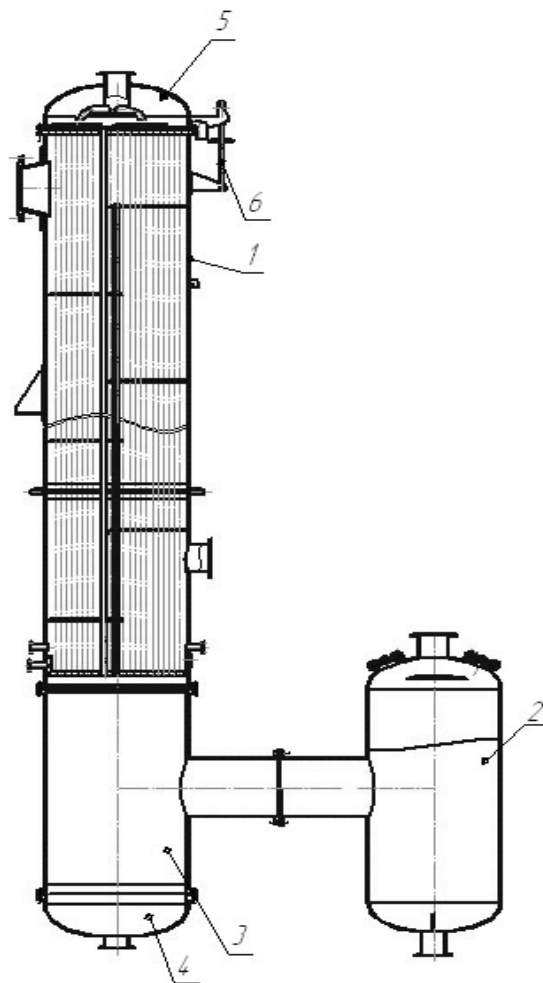
Випарний апарат схематично зображено на рисунку 3.2.

Апарат складається з корпусу 1, корпусу нижнього 3, еліптичного днища 4 та кришки 5, сепаратора 2 який приєднано до нижнього корпусу. В трубному просторі підтримується вакуумний тиск та температура кипіння розчину  $333\text{ K}$  ( $60^{\circ}\text{C}$ ).

Принцип дії. Вхідний розчин водеться на верхню трубну решітку, звідки потрапляє в трубний простір де стікає плівкою. В міжтрубний простір з подається пара, яка конденсується в апараті. Після проодження тубчатки розчин подається в нижній корпус, звідки пари вторинної пари надходять до сепаратора, де відбувається розділення пари від концентрату.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		24





1 – трубчатка; 2 – сепаратор; 3 – корпус нижній; 4 – днище; 5 – кришка;  
6 – затискач.

Рисунок 3.2 – Схематичне зображення випарного апарату

### 3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами

В даній магістерській дисертації розробляються конструкції ферментера, випарного апарату. Метою огляду є визначення актуальності розроблюваних апаратів, на сьогоdnішньому етапі розвитку науки та техніки, актуальність розроблюваних апаратів на світовому рівні та на рівні України.

Ферментер

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		25

Ферментери відрізняються об'ємами, розмірами підводом повітря, підведенням чи відведенням тепла, перемішуванням.

У магістерській дисертації конструкція ферментеру з механічним перемішуючим пристроєм. Так як в наслідок екзотермічної реакції процесі ферментації утворюється тепло, виходячи з цього його потрібно відводити, тому використовуємо оболонь. Також при виробництві глютамінової кислоти до ферментера подають повітря.

Розглянуто два види апаратів барботажний ферментер та ферментер з перемішуючим пристроєм. При цьому баработажний ферментер не забезпечую розчинення кисню у рідкому середовищі. Тому обрано ферментер з перемішуючим пристроєм. Для перемішування було обрано відкриту турбінну мішалку з покращеною конструкцією.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика мішалок ферментерів

Основні технологічні показники	Турбінна	Рамна	Пропелерна
Маса, кг (бали)	22(4)	170(1)	27(3)
Вартість, грн(бали)	7500(4)	9000(2)	8000(3)
Витрату потужність, кВт(бали)	2(3)	5,5(1)	0,7(4)
Частота обертів, об/с (бали)	2,972(3)	0,885(2)	2,972(3)
Діаметр перемішуючого пристрою, м (бали)	0,6(3)	1,8(2)	0,6(3)
Сума балів	17	8	16

Перевагами обраної конструкції мішалки є менша маса порівнянно з рамною та пропелерною. Менша вартість порівняно з іншими перемішуючими пристроями. Якщо розглядати пропелерну та турбінну мішалку за однаковими діаметрами та частотою обертів мають різну витрату потужності, у пропелерної вона менша.

Висновки: Враховуючи, що ферментер з турбіною мішалкою, який проектується набрав більше балів порівняно з іншими то доцільно використовувати вибраний варіант.

### Випарний апарат

Розрізняють випарні апарати з природною та примусовою циркуляцією, плівкові та барботажні апарати.

У магістерській дисертації конструкція плівкового випарного апарату. В трубному просторі речовина подається на кипіння в вакуумі.

Розглянуто 3 апарати: з природньою циркуляцією винесеною циркуляційною трубою, плівкові апарати з висхідною та низхідною плівкою.

Виходячи з таблиці 3.2 більше вологи випарюється в апараті з нисхідною плівкою, тобто у цьому апараті ми отримаємо більшу концентрацію готового розчину.

Таблиця 3.2 - Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами

Технічна характеристика	Випарний апарат з низхідною плівкою	Випарний апарат з визхідною плівкою	Випарний апарат з природньою циркуляцією винесеною циркуляційною трубою
Продуктивність по випареній вологі, кг/с (бали)	0,196 (3)	0,097(2)	0,082 (1)
Робочий тиск, МПа(бали)	0,007-0,1 (1)	0,007-0,1 (1)	0,007-0,1 (1)
Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup> (бали)	10(1)	10 (1)	10(1)
Теплоносій (бали)	водяна пара (1)	водяна пара (1)	водяна пара (1)
Сума балів	6	5	4

Висновки: Враховуючи, що випарний апарат, який проектується набрав більше балів порівнянно з іншими то доцільно використовувати вибраний варіант.

### 3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

#### Ферментер

В середині апарата знаходиться агресивне середовища всі елементи виготовляється зі сталі 12X18H10T (ГОСТ 4986 – 79). Матеріал опори реактора сталь Ст.3сп (ГОСТ 380 – 94).

Для виготовлення кріпильних елементів вибрано сталь 35Х ГОСТ 7798 – 70 для болтів та ГОСТ 5915 – 70 для гайок. Прокладки виготовлено із пароніту ПОН-А за ГОСТ 481-80.

#### Випарний апарат

Для всіх елементів які доторкаються до агресивного середовища використовуємо сталь 12X18H10T (ГОСТ 4986 – 79). Болти виготовлено зв сталі марки 35 за ГОСТ 1050-88. Шайби зі сталі Ст3 за ГОСТ 380-94.

Прокладки виготовлено із пароніту ПОН-А за ГОСТ 481-80.

### 3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки

Предметом патентного пошуку є: ферментер та випарний апарат.

Результати патентних досліджень:

#### Ферментер

Біореактор [35].

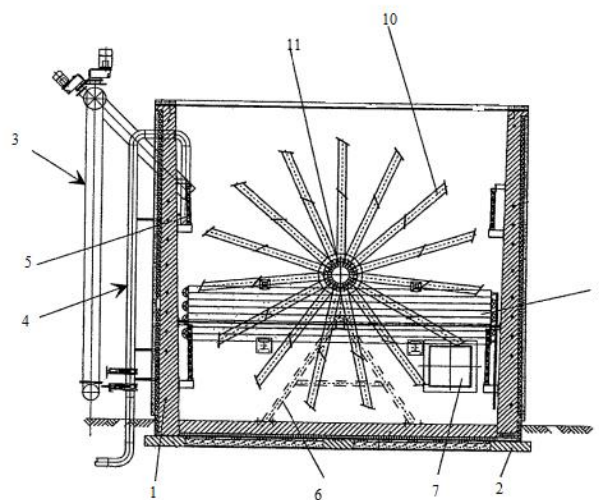
Схема апарату зображена на рисунку 3.3. Біореактор поршневым потоком, в тому числі мішалкою, що проходить уздовж поздовжньої осі для ретельного перемішування сухої твердої біомаси, яка повинна бути

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ доквм.	Піппис	Лат		29

дегазувати в ферментаційній камері. У згаданому біореакторі, мішалка встановлена на вал тільки в двох протилежних торцевих стінках ферментаційної камери в той час як що найменше один вільний кінець мішалки з'єднаний з приводом зовні ферментаційної камери.

Перевагою такої конструкції ретельне змішення біомаси з вмістом високо твердого матеріалу.

Недоліками є збільшення площі приміщення або додаткові споруди для такого типу біореактора.



1 – корпус; 2 – опора; 3, 4 – лінія подачі; 5 – нагрівач;  
6 – трикутна опора; 7 – отвір для люка; 9 – нагрівач; 10 – лопаті; 11 – вал.

Рисунок 3.3 – Біореактор

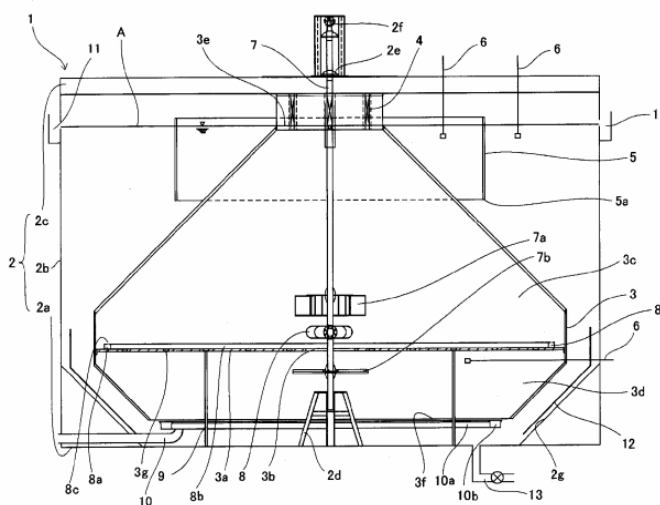
Біореактор [36].

Схематично зображений на рисунку 3.4. Біореактор та спосіб очищення стічних вод. Винахід включає в себе зовнішній резервуар (2), циліндричний внутрішній резервуар (3), розташований всередині цього зовнішнього резервуара та має отвори зверху та знизу, пристрій регулювання швидкості циркуляції (4) для регулювання швидкості циркуляції води, циліндричної

контрольної пластини (5) для осадження шламу, пристрій вимірювання якості очищеної води (6), що забезпечується зовнішньою та внутрішньою частиною циліндричного внутрішнього бака, отвору для подачі (10).

Перевагою є мінімізація втрат, безперервна обробка анаеробних і аеробних мікроорганізмів.

Недоліками: складність у виготовленні, збільшення деталей, збільшення вартості за рахунок оригінальності деталей.



- 1 – біореактор; 2 – зовнішній резервуар; 3 – внутрішній бак;  
 4 – пристрій регулювання швидкості; 5 – циліндрична контрольна пластна;  
 6 – пристрій для вимірювання якості; 7 – вал; 8 – повітряні отвори;  
 9 – опорний пост; 10 – штуцер для подачі; 11 – відвідний отвір;  
 12 – пристрій для запобігання осадженню-затвердінню;  
 13 – отвір для розпилення.

Рисунок 3.4– Біореактор

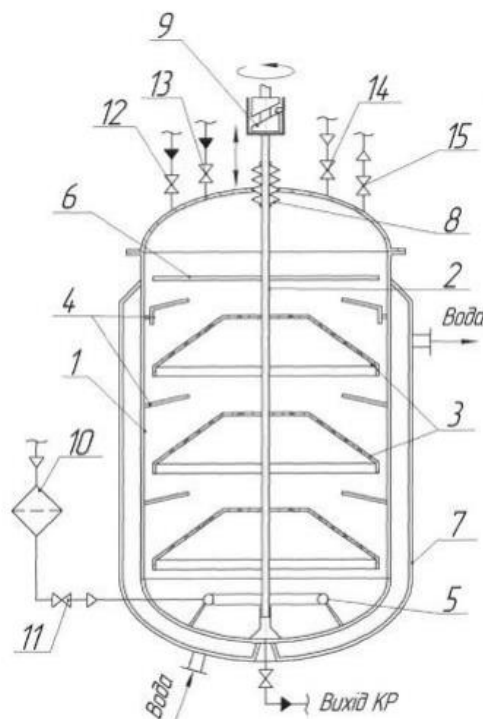
Ферментер з вібраційним перемішуючим пристроєм [37].

Схематично зображений на рисунку 3.5. Ферментер з вібраційним перемішуючим пристроєм складається з корпусу 1, вала перемішуючого пристрою 2, насадок перемішуючого пристрою 3, кільцевих перегородок 4,

барботера 5, піногасника 6, теплообмінної сорочки 7, сильфона 8, приводу перемішуючого 40 пристрою 9, фільтра повітря 10, штуцера подачі стерильного повітря 11, штуцера подачі поживного середовища 12, штуцера для посівного матеріалу 13, штуцера для подачі гострої пари 14, штуцера виходу відпрацьованого повітря 15. Реактор має насадки перемішуючого пристрою мають конічну форму та додатково містять перфорацію з отворами конічної форми, що при русі вала диспергують газову фазу.

Переваги: оптимізація масообмінних процесів.

Недоліки: велика вартість оригінальних деталей.



- 1 – корпус; 2 – вал; 3 – перемішуючий пристрій; 4 – кільцеві перегородки;  
 5 – барботер; 6 – піногасник; 7 – оболонь; 8 – сильфон; 9 – привід;  
 10 – повітряний фільтр; 11 – штуцер для подачі повітря;  
 12 – штуцер для подачі середовища;  
 13 – штуцер для подачі посівного матеріалу;  
 14 – штуцера для подачі гострої пари;  
 15 – штуцера виходу відпрацьованого повітря.

Рисунок 3.5 – Ферментер з вібраційним перемішуючим пристроєм

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		32

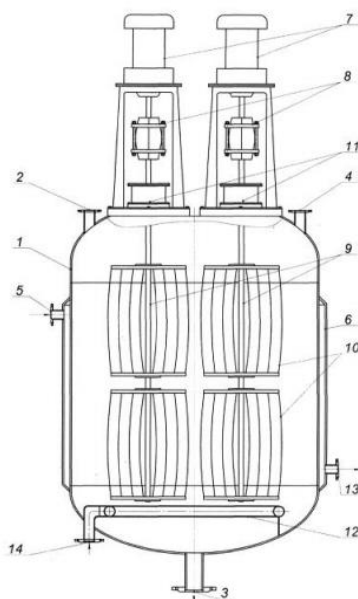


Ферментер з багатоваловим перемішуючим пристроєм [38].

Схематично зображений на рисунку 3.6. Ферментер містить циліндричний корпус 1 зі штуцером 2 для подачі поживного середовища, та штуцером 3 для вивантаження культуральної рідини, штуцером 4 для подачі посівного матеріалу, штуцер 5 для подачі теплоносія в сорочку 6, електропривід 7 та редуктори 8 для забезпечення обертального руху валів 9, які обертають вали з клітьовими мішалками з плоскими гнучкими вертикальними перемішуючими елементами 10, торцеві ущільнення 11, та барботер 12. В нижній частині ферментера розташовано штуцер 13 для відведення конденсату пари, штуцер 14 для подачі газової фази.

Переваги: рівномарна гомогенізація середовища.

Недоліки: складність виготовлення, велика металоємність.



1 – корпус; 2 – штуцер для подачі середовища; 3 – штуцер для вивантаження;  
4 – штуцер для подачі посівного матеріалу; 5 – штуцер для подачі теплоносія;  
6 – оболонь; 7 – приводи; 8 – редуктори; 9 – вали; 10 – перемішуючі пристрої;  
11 – торцеві ущільнення; 12 – барботер;  
13 – штуцер для відведення конденсату пари; 14 – штуцер для подачі повітря

Рисунок 3.6 – Ферментер з багатоваловим перемішуючим пристроєм

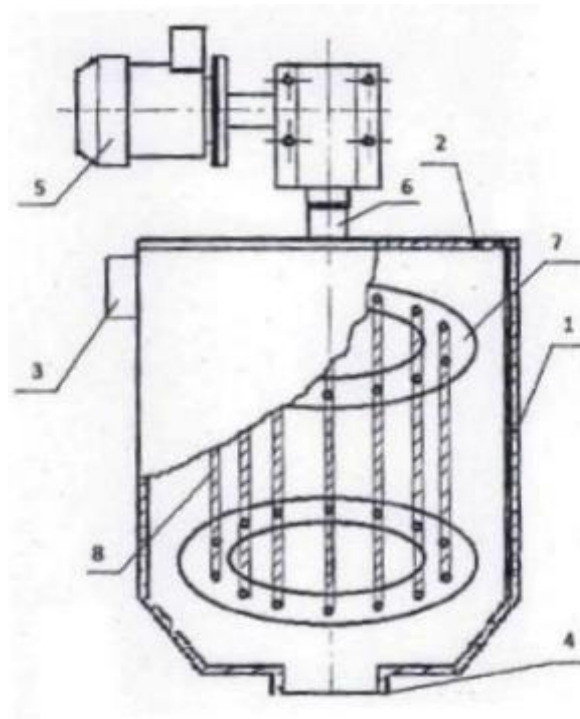
					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		33

Лопатева мішалка [39].

Схематично зображено на рисунку 3.7. Лопатева мішалка складається з корпусу з кришкою, ввідним і вивідним патрубками привода з можливістю передачі обертового руху на центральний вал, на якому закріплено лопатевий робочий орган. Лопатевий робочий орган виконано у вигляді "білячої клітки", що включає принаймні два диски, діаметр яких менший корпусу мішалки, на дисках вмонтовані поворотні лопаті з можливістю зміни кута повороту відносно дисків за рахунок посадочних пазів, розташованих в місцях кріплення лопатей на дисках.

Перевага: досягнення рівномірного поля турбулентності та гомогенізації рідини по всьому робочому об'єму мішалки.

Недолік: велика металоємність апарату.



1 – корпус; 2 – кришка; 3 – ввідний патрубок; 4 – вивідний патрубок;  
5 – привід; 6 – вал; 7 – диск; 8 – поворотні лопаті.

Рисунок 3.7 – Лопатева мішалка

Висновок: в результаті патентного пошуку встановлено, що сучасні тенденції покращення ферментерів направлені на рівномірну гоменізацію середовища, оптимізація масообміного процесу. В запропонованій конструкції апарата не використовуються технічні рішення захищені правами інтелектуальної власності, а отже апарат є патентно чистим. Регламен патентного пошуку наведено в Додатку В.

В основу модернізації покладено задачу інтенсифікацію процесу ферментації.

### Випарний апарат

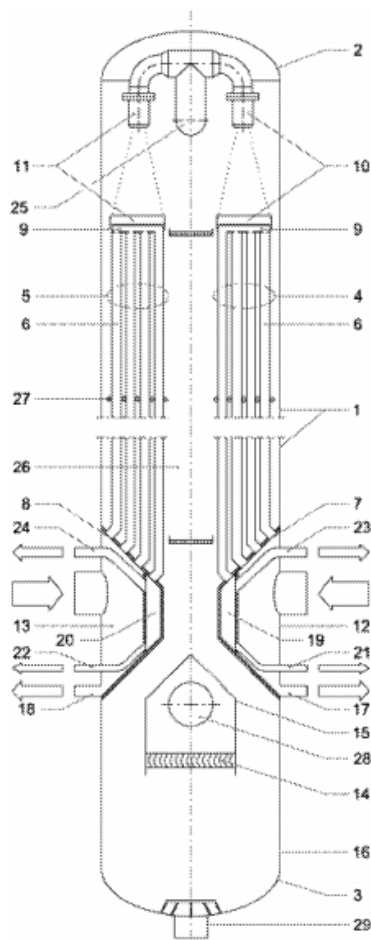
Плівковий випарник з падаючою плівкою [40].

Схематично зображено на рисунку 3.8. Випарник з падаючою плівкою включає в себе зовнішню оболонку, утворену циліндричною оболонкою та опуклими кінцями, принаймні одну трубку пачку, утворену з вертикальних труб, розташованих всередині зовнішньої оболонки, в результаті чого тепловіддачу, конденсатуючу пару можна подавати у вертикальні труби знизу вгору і теплопоглинаючу рідину, що випаровується, можна подавати до верхнього кінця трубного пучка, щоб протікати вниз вздовж зовнішньої поверхні вертикальних трубок у вигляді тонкого рідкого шару, внаслідок чого елемент для розвантаження неконденсуючихся газів, що містяться в Теплоотводчасті пари розташовані в пучках труб. Випарник включає в себе два або більше трубних пучків, кожен з яких забезпечений власною трубною пластиною, завдяки якій вертикальні трубки кожного трубного пучка розташовані на їхніх нижніх кінцях, прикріплених до трубної пластини відповідного трубного пучка і на їхніх верхніх кінцях для збору маніфольдів відповідного пучка труб.

Перевага: ефективна теплопередача.

Недолік: складність конструкції.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		35



1 – оболонка; 2 – кришка; 3 – днище; 4, 5 – трубні пучки; 6 – труби;  
 7, 8 – трубні пластини; 9 – колектори; 10, 11 – пристрої розподілу рідини;  
 12, 13 – випускні камери; 14 – сепаратор; 15 – парогенераторна камера;  
 16 – контейнер для перекачування; 17, 18 – сполучені деталі;  
 19, 20 – відокремлений простір; 21, 22 – випускні отвори;  
 23, 24 – простір відділення; 25 – впускна труба; 26 – паровий проміжок;  
 27 – підтримуючі конструкції; 28, 29 – впускний отвір.

Рисунок 3.8 – Плівковий випарник з падаючою плівкою

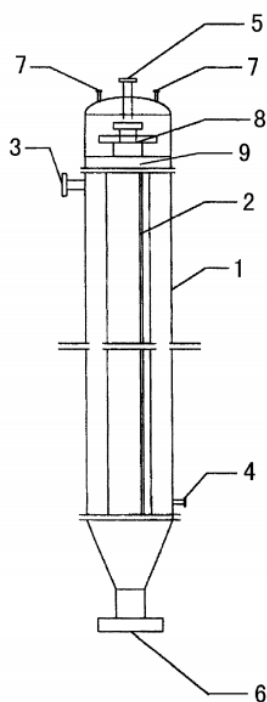
Плівковий випарник з падаючою плівкою [41].

Схематично зображено на рисунку 3.9. Випарник падаючою плівкою, що має корпусний прохід, декілька труб, паралельних один одному, випуск конденсату для пари, впускний отвір для водного розчину на верху пробірки, вихід для водного розчину в нижній частині прохідної трубки, розподільна

установка, яка має множину розподільних лотків, розташованих вертикально зверху вниз в додаткових діаметрах, і кожна з яких має декілька отворів, і тарілку для збору водного розчину під розподільним пристроєм. Трубки прямолінійні та встановлені вертикально у випарнику; внутрішня стінка труб гладка, а верхня частина трубок виступає над горизонтальною площиною пластини. Випарник особливо корисний для концентрації водного розчину, що містить термочутливі матеріали.

Перевага: подовження часу перебування.

Недолік: збільшення енергоспоживання.



- 1 – оболонка; 2 – трубний прохід; 3 – вхідний штуцер пари;  
 4 – вихідний отвір для конденсату; 5 – вхідний штуцер для концентрату;  
 6 – вихідний отвір для рідини; 7 – впускні отвори для подачі пари;  
 8 – розподільча апаратура; 9 – плита.

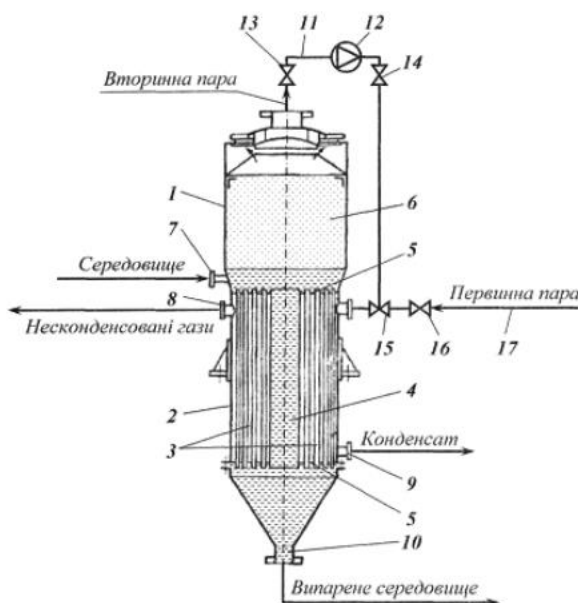
Рисунок 3.9 – Плівковий випарник з падаючою плівкою

Випарний апарат [42].

Схематично зображено на рисунку 3.10. Апарат складається з корпусу 1, нагрівальної камери 2, пучка труб 3, центральної циркуляційної труби 4, двох трубних решіток 5, сепараційної камери 6, патрубків підведення середовища 7, відведення несконденсованих газів 8, конденсату 9 і випареного середовища 10, циркуляційного контуру 11 вторинної пари, компресора 12 з обмежувальними засувками 13 та 14 і триходовою засувкою 15, поєднуючою циркуляційний контур з засувкою 16 тракту 17 подавання первинної пари.

Перевага: зменшення витрат енергії.

Недолік: збільшена металоємкість.



- 1 – корпус; 2 – нагрівальна камера; 3 – пучок труб;  
4 – центральна циркуляційна труба; 5 – трубна решітка; 6 – сепараційна камера;  
7 – патрубок до підводу середовища;  
8 – патрубок відводу несконденсованих газів; 9 – патрубок відводу конденсату;  
10 – патрубок відводу випареного середовища;  
11 – патрубок відводу вторинної пари; 12 – компресор;  
13, 14, 15, 16 – засувки; 17 – тракт подавання первинної пари.

Рисунок 3.10 – Випарний апарат

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		38

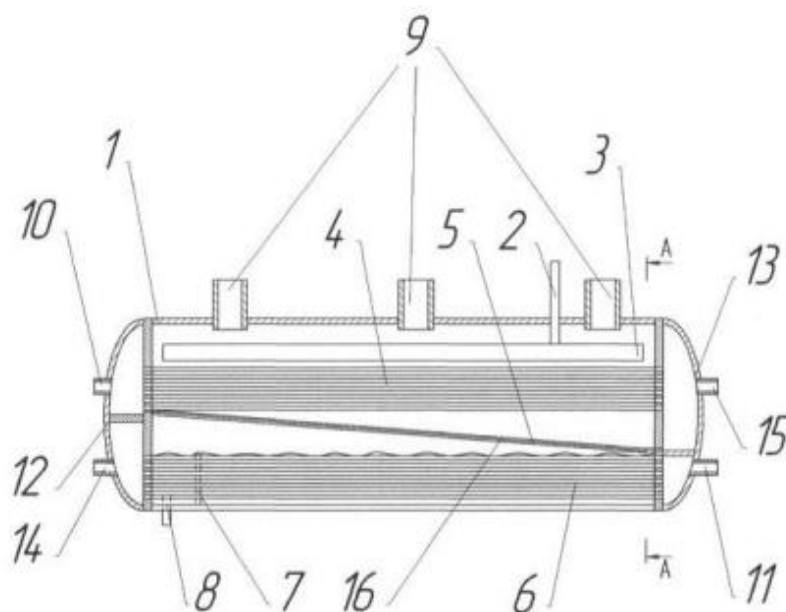
Випарний апарат з горизонтальними трубками [43].

Схематично зображено на рисунку 3.11. Кожухотрубний випарний апарат працює в такий спосіб. Вихідний розчин, що підлягає процесу випарювання, потрапляє в корпус 1 через вхідний патрубок 2 та за допомогою зрошувального елемента 3 зрошує пучок грійних трубок 4, після проходження розчином пучка трубок підігрітий розчин потрапляє на жолоб 5, на якому розташовані нагрівні трубки 16, за допомогою якого здійснюється транспортування розчину у зону, в якій відбувається основна частина процесу випаровування за рахунок пучка грійних трубок 6. Рівень рідини в основній секції випаровування може регулюватись за допомогою перегородки 7, готовий продукт виводиться через вивідний патрубок 8, а пари, що утворилися у результаті процесу випаровування, виводяться через систему патрубків 9. Теплоносії потрапляють в кожухотрубний випарний апарат через патрубки 10, 11 та виводяться за допомогою патрубків 14, 15, які встановлені на еліптичних днищах 12, 13.

На жолобі встановлені додаткові теплообмінні трубки, система зрошення має трапецеїдальну форму та по всій довжині корпусу рівномірно розташовані патрубки для виведення утвореної пари.

Перевага: інтенсифікація процесу випарювання, ефективно виводиться пар з корпусу апарата, довговічність.

Недолік: можливе руйнування за рахунок впливу утвореного конденсату на поверхню системи зрошення.



- 1 – корпус; 2 – вхідний патрубок для розчину; 3 – зрошувальний елемент;  
 4, 6 – грійні труби; 5 – жолоб; 7 – перегородка;  
 8 – вивідний патрубок для розчину; 9 – система патрубків;  
 10, 11 – вхідний патрубки для теплоносія; 12, 13 – еліптичні днища;  
 14, 15 – вихідний патрубок для теплоносія; 16 – нагрівні трубки.

Рисунок 3.11 – Випарний апарат з горизонтальними трубками

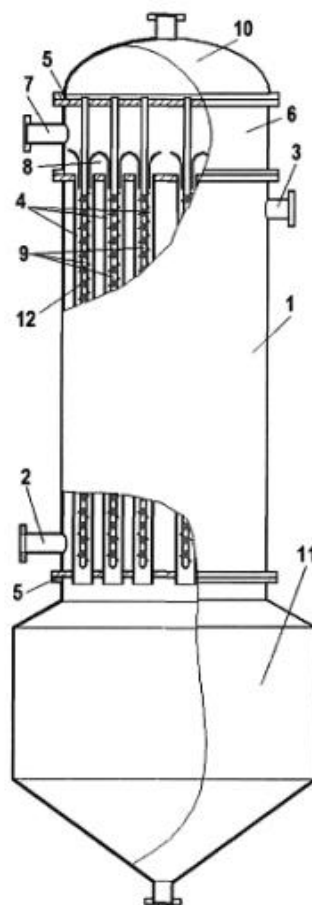
Випарний апарат з горизонтальними трубками [44].

Схематично зображено на рисунку 3.12. Випарний апарат, складається з вертикального нагрівального корпусу 1 із патрубками підведення 2 і відведення нагрівального теплоносія 3, поверхні нагрівання із системи труб 4, 30 прикріплених до трубних решіток 5, камери подачі 6 із штуцером введення речовини 7 і пристроєм введення поверхневої плівки 8, перфорованих трубчатих елементів 9, розташованих коаксіально в кожній із труб поверхні нагрівання, для відведення вторинної пари, в колекторну камеру 10, збірної камери продукту 11, пристрою формування поверхневої плівки 12, виконаного у формі спіралі, намотаної на поверхню перфорованих трубчатих елементів відведення вторинної пари.

Перевага: рівномірність формування плівкової поверхні.



Недолік: збільшена металоємкість .



- 1 – корпус; 2 – вхідний патрубок для теплоносія;  
 3 – вихідний патрубок для теплоносія; 4 – труби; 5 – трубні решітки;  
 6 – камери подачі; 7 – штуцер введення речовини;  
 8 – пристрій введення поверхневої плівки; 9 – перфоровані трубчаті елементи;  
 10 – колекторна камера; 11 – збірна камера продукту;  
 12 – пристрою формування поверхневої плівки.

Рисунок 3.12 – Випарний апарат з горизонтальними трубками

Висновок: в результаті патентного пошуку встановлено, що сучасні тенденції покращення випарних апаратів направлені на інтенсифікацію процесу випарбвання. Регламен патентного пошуку наведено в Додатку В.

## 4.1 Розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність конструкцій

### 4.1 Розрахунок ферментера

Мета: визначення основних конструктивних та енергетичних показників ферментера, призначеного для отримання глютамінової кислоти.

#### 4.1.1 Вибір ферментеру та визначення його характеристик

Задана продуктивність:  $G = 470 \frac{\text{тон}}{\text{рік}}$ . Приймається час роботи цеху:  $\tau = 300$  днів в рік.

Обираємо ферментер стандартного типорозміру [1, стр. 7, табл. 2] з такими характеристиками: повний об'єм ферментера:  $V_{\text{заг}} = 16 \text{ м}^3$ .

Приймаємо коефіцієнт заповнення ферментера:  $K_z = 0,7$ .

Розрахунок ведемо за методикою наведеною у [2, 184].

Тоді робочий об'єм ферментера буде:

$$V_p = V_{\text{заг}} \cdot K_z = 16 \cdot 0,7 = 11,2 \text{ м}^3$$

Густину середовища визначаємо за правилом адаптивності:

$$\rho_c = x_v \cdot \rho_v + x_m \cdot \rho_m = 0,70 \cdot 995,35 + 0,30 \cdot 1333 = 1096,65 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

де  $x_v$  – масова доля води в суміші;  $x_m$  – масова доля м'яса в суміші;  $\rho_v$  – густина води  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $\rho_m$  – густина м'яса  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ; решту компонентів можна не враховувати, оскільки їх загальна частка нехтовно мала.

Об'єм кислоти ферментера

$$V_{\text{зк}} = V_p \cdot C_{\text{зк}} = 11,2 \cdot 0,07 = 0,784 \text{ м}^3,$$

де  $C_{\text{зк}} = 0,07$  – концентрація глютамінової кислоти на виході.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		42

Маса кислоти:

$$M_{зк} = V_{зк} \cdot \rho_c = 0,784 \cdot 1096,645 = 859,769 \text{ кг.}$$

Продуктивність одного ферментера визначається за формулою:

$$G_{гк} = \frac{M_{гк}}{\tau_p \cdot 3600} = \frac{859,769}{52 \cdot 3600} = 0,00459 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Тоді необхідна кількість ферментерів буде визначатись за формулою:

$$n_{\phi} = \frac{G \cdot 1000}{\tau \cdot 24 \cdot 3600 \cdot G_{гк}} = \frac{470 \cdot 1000}{300 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,00459} = 3,948;$$

де  $\tau = 300$  – кількість робочих днів.

Приймаємо  $n_{\phi} = 4$ . Тоді дійсна продуктивність за рік буде:

$$G = G_{гк} \cdot n \cdot \tau \cdot 24 \cdot 3600 = 0,00459 \cdot 4 \cdot 300 \cdot 24 \cdot 3600 = 476,18 \frac{\text{тон}}{\text{рік}}.$$

Висновок: Для забезпечення заданої продуктивності лінії ферментації необхідно взяти 2 ферментерів заданої продуктивності.

#### 4.1.2 Розрахунок геометричних параметрів ферментеру

Метою розрахунку є визначення основних конструктивних та енергетичних показників ферментатора із загальним обсягом  $V_{заг} = 16 \text{ м}^3$ , призначеного для вирощування культури глютамінової кислоти.

Схема до розрахунку основних геометричних параметрів ферментера показана на рисунку 4.1.

Вихідні дані:

Коефіцієнт заповнення  $K_z$  0,7;

Загальний об'єм апарата  $V_{заг}, \text{ м}^3$  16.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		

Параметричний розрахунок здійснено за методикою наведеною у літературі [3]

Приймаємо внутрішній діаметр апарата  $D_{\text{вн}} = 2000$  мм.

Еліптичні днища для апарата такого діаметра мають такі показники[4]: внутрішній діаметр  $D_{\text{вн}} = 2000$  мм; висота еліптичної (опуклої) частини  $H_{\text{ел}} = 500$  мм; висота відбортовки  $h = 40$  мм; внутрішня поверхня  $F = 4,59\text{м}^2$ ; ємність днища  $V_{\text{дн}} = 1,168\text{м}^3$ ; товщина стінки днища  $S = 14\text{мм}$ .

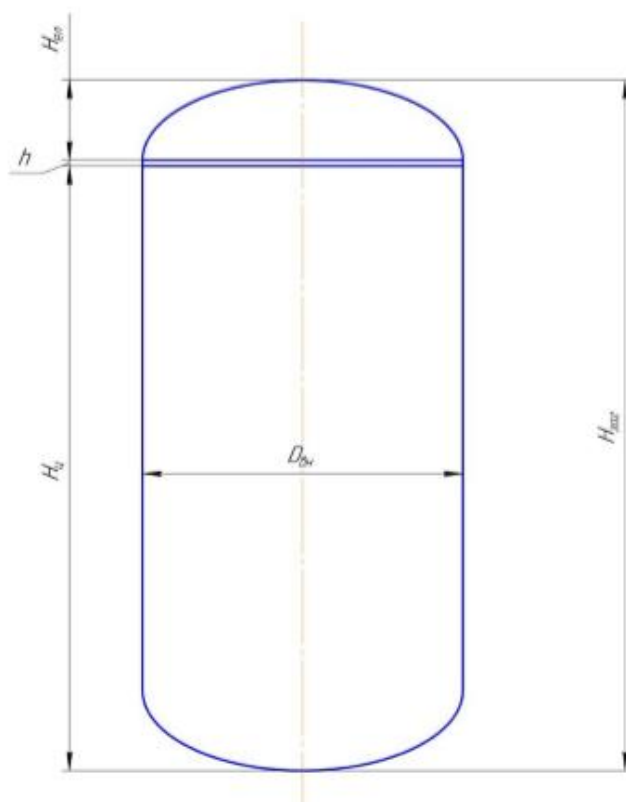


Рисунок 4.1 – Схема до розрахунку основних розмірів ферментатора

Відповідно ГОСТ 6533- 78 приймають співвідношення:

$$H_{\text{в}} = 0,25 \cdot D_{\text{вн}} = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ м.}$$

Повний об'єм ферментера:

$$V_{\text{п}} = V_{\text{ц}} + 2 V_{\text{дн}} = 16\text{м}^3.$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		44

Об'єм циліндричної частини ферментера:

$$V_{\text{ц}} = V_{\text{н}} - 2V_{\text{дн}} = 16 - 2 \cdot 1,168 = 13,664 \text{ м}^3.$$

де  $V_{\text{дн}}$  – об'єм еліптичного днища:

$$V_{\text{дн}} = 1,168 \text{ м}^3.$$

Висота циліндричної частини ферментера:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}}{F} = \frac{13,664}{0,785 \cdot 2^2} = 4,352 \text{ м},$$

де  $F = 0,785 \cdot D^2$ .

Максимальна поверхня теплопередачі:  $F_{\text{max}} = 19,066 \text{ м}^2$ .

Загальна висота ферментера:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2(H_{\text{ел}} + h) = 4,352 + 2 \cdot (0,5 + 0,04) = 5,43 \text{ м}$$

Об'єм рідини в циліндричній частині  $V_{\text{рц}}$  у ферментері:

$$V_{\text{рц}} = V_{\text{рп}} - V_{\text{рд}} = 11,2 - 1,168 = 10,032 \text{ м}^3$$

де  $V_{\text{рп}}$  - робочий об'єм ферментера;  $V_{\text{рд}} = V_{\text{дн}}$  - об'єм рідини у днищі ферментера

Тоді висота рідини у циліндричній частині буде визначатись за формулою:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{рц}}}{\pi \cdot R_{\text{вн}}^2} = \frac{10,032}{\pi \cdot 1^2} = 3,195 \text{ м}$$

Загальна висота рідини у ферментері:

$$H_{\text{р}} = H_{\text{ц}} + H_{\text{ел}} + h = 3,195 + 0,5 + 0,04 = 3,735 \text{ м}$$

Висновок: Основними геометричними параметрами ферментера є:

загальна висота апарату  $H_{\text{заг}} = 5,430 \text{ м}$ , висота циліндричної частини  $H_{\text{ц}} = 4,35 \text{ м}$ , висота еліптичної частини  $H_{\text{ел}} = 0,5 \text{ м}$ , висота відбортівки  $h = 0,04 \text{ м}$ , висота рідини у ферментері  $H_{\text{р}} = 3,734 \text{ м}$ , максимальна поверхня теплопередачі  $F_{\text{max}} = 19,066 \text{ м}^2$ , робочий об'єм ферментера  $V_{\text{р}} = 11,2 \text{ м}^3$ .

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

### 4.1.3 Розрахунок необхідної кількості кисню для забезпечення заданої продуктивності ферментатора

Метою розрахунку є визначити мінімальний потік маси кисню який задовольняє заданій продуктивності ферментатора та умовам режиму перемішування. Схема до розрахунку матеріального балансу ферментатора подана на рисунку 5.2.



Рисунок 5.2 – Розрахункова схема матеріального балансу ферментатора

Вихідні дані:

робочий об'єм ферментатора $V_p$ , м <sup>3</sup>	11,2;
час роботи ферментатора, год(сек)	52(187200);
склад повітря, %:	
	O <sub>2</sub> =21;
	N <sub>2</sub> =78;
	інертні гази=1;
молярна маса глютамінової кислоти	
$M(C_5H_9NO_4)$ , кг/кмоль	147,13;
молярна маса кисню $M(O_2)$ , кг/кмоль	32;

концентрація глутамінової кислоти на  
виході С, %

7;

Розрахунок необхідної кількості кисню для забезпечення заданої продуктивності ферментатора здійснено за методикою наведеною у літературі [5, стр.78].

Сумарне рівняння процесу біосинтезу глутамінової кислоти, має такий вигляд:



З рівняння реакції видно, що для утворення одного молю глутамінової кислоти необхідно 1,5 моля  $\text{O}_2$ .

При утворенні 1 кг глутамінової кислоти утворюється:

$$\frac{m(\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4)}{M(\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4)} = \frac{1000}{147,13} = 6,797 \text{ моль } (\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4)$$

Отже можна скласти наступну пропорцію

$$1 \text{ моль } (\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4) - 1,5 \text{ моль } \text{O}_2$$

$$6,797 \text{ моль} - x;$$

$$x = 10,195 \text{ моль } \text{O}_2/\text{кг},$$

в кілограмах

$$m = x \cdot M(\text{O}_2) = 10,195 \cdot 0,032 = 0,326 \text{ кг } \text{O}_2/\text{кг}.$$

Розділивши робочий об'єм ферментера на час його роботи, отримаємо продуктивність ферментера:

$$Q = \frac{V_p}{\tau_p} = \frac{11,2}{52 \cdot 3600} = 5,983 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \left( 0,0459 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right)$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		47

Необхідна кількість кисню для забезпечення заданої продуктивності дорівнює:

$$G_{O_2} = G_{\text{гк}} \cdot 1,06 = 0,00459 \cdot 1,06 = 0,00487 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Необхідна кількість повітря для забезпечення необхідної продуктивності

$$G_{\text{пов}} = \frac{G_{O_2}}{c} = \frac{0,00487}{0,21} = 0,0232 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де  $c = 21\%$  - концентрація кисню в повітрі

Висновок: Потік кисню, що необхідний для забезпечення заданої продуктивності дорівнює 0,00487 кг/с, витрата повітря 0,0232 кг/с.

#### 5.1.4 Розрахунок потужності приводу при перемішуванні турбіною мішалкою

Метою розрахунку є знаходження потужності, що витрачається на перемішування в ферментаторі, та вибір приводу.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.3.

Вихідні дані:

робочий об'єм ферментатора $V_p$ , м <sup>3</sup>	11,2;
густина повітря $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1,165;
діаметр рамної мішалки $d_m$ , м	0,6;
число ярусів мішалки $m_y$	2;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	1,8;
густина середовища $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	996;
динамічна в'язкість рідини $\mu_c$ , Па·с	$804 \cdot 10^{-6}$ ;
висота рівня рідини $H_p$ , м	4,555;
частота обертання мішалки $n$ , об/с	2,972.



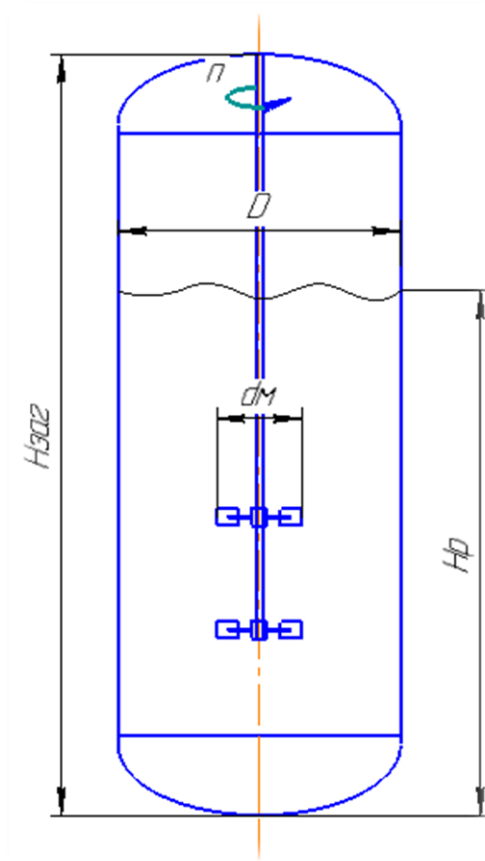


Рисунок 5.3 – Схема ферментера з мішалкою

Розрахунок перемішуючого пристрою здійснено за методикою наведеною у літературі в [3, стр.707].

Відцентровий критерій Рейнольдса знаходимо по формулі:

$$Re_{відц} = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_c} = \frac{996 \cdot 2,972 \cdot 0,6^2}{805 \cdot 10^{-6}} = 1325423$$

Критерій потужності залежить від інтенсивності перемішування і характеризується відцентровим критерієм Рейнольдса ( $Re_{ц}$ ),  $K_N = f(Re_{ц})$ , при даному значенні  $Re_{відц}$  визначаємо по графіку :  $K_N = 0,99$ . Потужність, яка потребується на перемішування суміші визначаємо по формулі :

$$N_m = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 0,99 \cdot 996 \cdot 2,972^3 \cdot 0,6^5 = 2012,78 \text{ Вт.}$$

При встановленні m мішалок на валу потужність, що витрачається на перемішування:

$$N_m = N_m \cdot (0,4 + 0,6 \cdot m_y) = 2012,78 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot 2) = 3220,45 \text{ Вт.}$$

Так як  $H_p > D$ , то визначаємо коефіцієнт враховуючий збільшення потужності:

$$K_n = \left( \frac{H_p}{D} \right)^{0,5} = \left( \frac{3,735}{2} \right)^{0,5} = 1,367.$$

Кінцеву розрахункову потужність визначаємо за формулою:

$$N'_m = K_n \cdot N_m = 1,367 \cdot 3220,45 = 4400,89 \text{ Вт.}$$

За отриманою потужністю та швидкістю обертання перемішуючого пристрою з таблиці вибираємо вертикальний привід з однією проміжною опорою вала (тип IV) з типорозміром мотор-редуктора П. Привід має потужність 7,5 кВт, швидкість обертання вала перемішуючого пристрою 18,67 рад/с. Діаметр вала перемішуючого пристрою  $d_g = 130 \text{ мм}$ . Для ущільнення вала приймаємо сальникову набивку з м'якою набивкою.

Висновок: Потужність електродвигуна повинна бути більша ніж  $N_{пр} = 4400 \text{ Вт}$ , у довідковій літературі найближчий привід більшої потужності (з даною частотою обертання)  $N_{пр} = 7500 \text{ Вт}$ , позначення приводу 3-7,5-18,67 МН 5858-66. Потужність електродвигуна достатня для того, щоб забезпечити перемішування культуральної рідини турбіною мішалкою діаметром 0,6 м з частотою обертання вала  $2,972 \text{ с}^{-1}$ .

### 5.1.5 Розрахунок глибини воронки

Мета: розрахувати глибину воронки та перевірити чи вона не дістає до перемішуючого пристрою.

Схема до розрахунку глибини воронки подана на рисунку 4.12.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		50

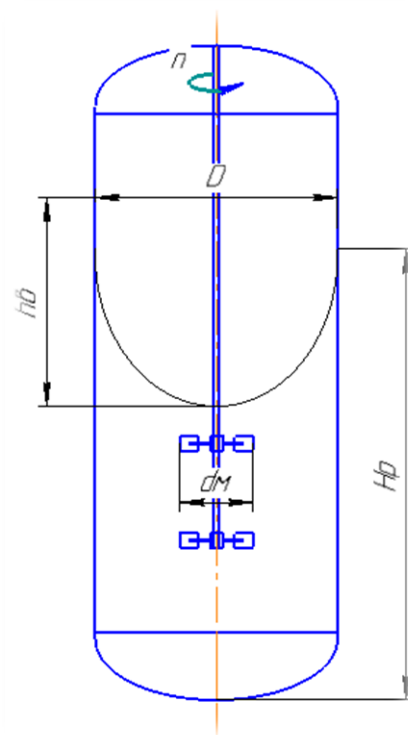


Рисунок 4.4 Схематичне зображення до розрахунку глибини воронки

Вихідні дані:

відцентровий критерій Рейнольдса при

перемішуванні  $Re_{\pi}$  1325423;

діаметр вала мішалки  $d_b$ , м 0,05;

частота обертання вала мішалки  $n$ ,  $s^{-1}$  2,972;

діаметр мішалки  $d_m$ , м 0,6;

Розрахунок проводимо за методикою, наведеною у літературі [16, табл. 5].

$$h_b = \frac{Bn^2 d_m^2}{2g} = \frac{8 \cdot 2,972^2 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 9,81} = 1,297 \text{ м},$$

де  $B$  – параметр глибини воронки знаходиться з графіка  $B = f(\psi_1)$  [16, рис. 25],

$\psi_1$  – параметр розподілення швидкості знаходиться з графіка  $\psi_1 = f(E)$  [16, рис. 25].

Параметр гідравлічного опору:

$$E = \frac{\varphi}{\xi_m \cdot z_m \cdot \text{Re}_{\text{ц}}^{0,25}} = \frac{0,7}{8,4 \cdot 2 \cdot 1325423^{0,25}} = 1,442 \cdot 10^{-3},$$

де  $z_m$  – число мішалок на валу;  $\xi_m$  - коефіцієнт гідравлічного опору [16].

Приймаємо  $\psi_1 = 0,5$ . Звідси  $B = 8$ .

Висновок: Отже воронка не дістає до самого перемішуючого пристрою.

#### 4.1.6 Розрахунок коефіцієнта масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідині

Метою розрахунку є знаходження коефіцієнту масовіддачі та потоку маси  $\text{O}_2$  від газової фази до культуральної рідини, який забезпечується при даному режимі перемішування та витраті барботуючого газу.

Схема процесу переносу кисню у ферментаторі подана на рисунку 4.5.

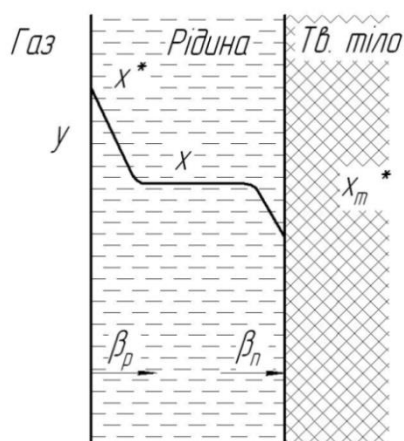


Рисунок 4.5– Схема процесу переносу кисню в ферментаторі

Вихідні дані:

робочий об'єм ферментатора $V_p$ , м <sup>3</sup>	11,2;
густина повітря $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	1,165;
діаметр відкритої турбінної мішалки $d_m$ , м	0,6;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2;
висота рідини в ферментаторі $H_p$ , м	3,735;
частота обертання вала мішалки $n$ , об/с	2,972;
витрати барботуючого газу $q_r$ , м <sup>3</sup> /с	0,0756;
густина середовища $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	996;
динамічна в'язкість рідини $\mu_p$ , Па·с	$804 \cdot 10^{-6}$ ;
поверхневий натяг рідини $\sigma$ , Н/м	0,0712;
коефіцієнт молекулярної дифузії $D_p$ , м <sup>2</sup> /с	$2,113 \cdot 10^{-9}$ ;
середня концентрація кисню в повітрі $y$ , кг/м <sup>3</sup>	0,21;
тиск над рідиною в ферментаторі $P$ , МПа	0,1.

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [5, стр. 80].

Витрати енергії на перемішування газорідинної суміші:

$$N_{гр} = N_m \cdot (1 - 1,26 \cdot \frac{q_r}{n \cdot d_m}) = 4400,89 \cdot (1 - 1,26 \cdot \frac{0,0756}{2,972 \cdot 0,6}) = 4165,828 \text{ Вт.}$$

Дисипація енергії, що вводиться в одиницю об'єму рідини перемішуючим пристроєм:

$$\epsilon_m = \frac{N_{гр}}{V_p} = \frac{4165,828}{11,2} = 371,949 \text{ Вт/м}^3.$$

Дисипація енергії, що вводиться з барботуючим газом:

$$\epsilon_r = \rho_p \cdot g \cdot W_r = 996 \cdot 9,81 \cdot 0,0241 = 235,245 \text{ Вт.}$$

Приведена швидкість в апараті:

$$W_r = \frac{q_r}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,0756}{0,785 \cdot 2^2} = 0,0241 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо газовміст системи за формулою Кальдербанка [5] методом послідовних наближень. Попередньо приймаємо  $\varphi_r = 0,1$ , тоді в першому наближенні:

$$\varphi_r = \left( \frac{\varphi_r \cdot W_r}{U_n} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{\varepsilon_m^{0,4} \cdot \rho_p^{0,2}}{\sigma^{0,6}} \cdot \left( \frac{W_r}{U_n} \right)^{0,5} =$$

$$= \left( \frac{0,1 \cdot 0,0241}{0,244} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{371,949^{0,4} \cdot 996^{0,2}}{0,0712^{0,6}} \cdot \left( \frac{0,0241}{0,244} \right)^{0,5} = 0,1133 \text{ м}^3 / \text{м}^3,$$

де  $U_n$  – швидкість спливання газових бульбашок:

$$U_n = 1,5 \cdot \left( \sigma \cdot g \cdot \frac{(\rho_p - \rho)}{\rho_p^2} \right)^{0,25} = 1,5 \cdot \left( 0,712 \cdot 9,81 \cdot \frac{(996 - 1,165)}{996^2} \right)^{0,25} = 0,224 \text{ м/с}.$$

Приймаємо  $\varphi_r = 0,2$ .

Середній діаметр газових бульбашок:

$$d_6 = 4,15 \cdot \left[ \frac{\sigma^3}{\rho_p \cdot \varepsilon_m} \right]^{0,2} \cdot \varphi_r^{0,5} + 0,0009 = 4,15 \cdot \left[ \frac{0,0712^3}{996 \cdot 371,949^2} \right]^{0,2} \cdot 0,2^{0,5} + 0,0009 =$$

$$= 0,00986 \text{ м}.$$

Питома площа поверхні газових бульбашок з рівняння Кальдербанка [6, стр. 284]:

$$a = 1,44 \cdot \left( \frac{\varepsilon_m^{0,4} \cdot \rho_p^{0,2}}{\sigma^{0,6}} \right) \cdot \left( \frac{W_r}{U_n} \right)^{0,5} = 1,44 \cdot \left( \frac{371,949^{0,4} \cdot 996^{0,2}}{0,0712^{0,6}} \right) \cdot \left( \frac{0,0241}{0,224} \right)^{0,5} =$$

$$= 93,713 \text{ м}^2 / \text{м}^3$$

Критерій Шервуда знаходимо за формулою:

$$\text{Sh} = 0,33 \cdot \left( \frac{n \cdot d_m \cdot d_6}{\mu_p} \right) \cdot \left( \frac{\mu_p}{D_p} \right)^{0,5} = 0,33 \cdot \left( \frac{2,972 \cdot 0,6 \cdot 0,00986}{804 \cdot 10^{-6}} \right) \cdot \left( \frac{804 \cdot 10^{-6}}{2,113 \cdot 10^{-9}} \right)^{0,5} = 4451$$

Поверхневий коефіцієнт масопереносу:

$$\beta_{\text{ж}} = \frac{\text{Sh} \cdot D_p}{d_6} = \frac{4451 \cdot 2,113 \cdot 10^{-9}}{0,00986} = 0,000954 \text{ м/с},$$

Рівноважна концентрація кисню на межі розділу фаз:

$$x^* = \frac{y \cdot p \cdot \rho_p}{m} = \frac{0,21 \cdot 0,1 \cdot 996}{3270} = 0,006396 \text{ кг/м}^3,$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		54

де  $m$  – фазова рівновага при розчиненні кисню в воді в залежності від температури, при  $t = 30^{\circ}\text{C}$   $m=3270$ , МПа.

Концентрація кисню розчиненого в об'ємі рідини:

$$x \approx 0,2 \cdot x^* = 0,21 \cdot 0,006396 = 0,001343 \text{ кг/м}^3.$$

За законом Шукарева потік маси, що забезпечується перемішуванням, дорівнює масі кисню, що витрачається на реакцію за одиницю часу:

$$Q_{O_2} = \beta_{\text{ж}} \cdot F \cdot (x^* - x) = 0,000954 \cdot 1049,58 \cdot (0,006396 - 0,001343) = 0,00506 \text{ кг/с},$$

де  $F$  – площа поверхні контакту фаз:

$$F = a \cdot V_p = 93,713 \cdot 11,2 = 1049,58 \text{ м}^2.$$

Висновок: потік маси кисню від повітря до рідини при даному режимі перемішування складає 0,00506 кг/с, він більший ніж 0,00487 кг/с, що споживають клітини під час свого розвитку та життєдіяльності. Отже умови роботи ферментера забезпечують перенос до біомаси необхідної кількості кисню.

#### 4.1.7 Розрахунок коефіцієнта масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідині пропелерна мішалка

Метою розрахунку є знаходження коефіцієнту масовіддачі та потоку маси  $O_2$  від газової фази до культуральної рідини, який забезпечується при даному режимі перемішування та витраті барботуючого газу.

Схема процесу переносу кисню у ферментаторі подана на рисунку 4.5.

Вихідні дані:

робочий об'єм ферментатора $V_p$ , м <sup>3</sup>	11,2;
густина повітря $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	1,165;
діаметр відкритої турбінної мішалки $d_m$ , м	0,6;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2;
висота рідини в ферментаторі $H_p$ , м	3,735;
частота обертання вала мішалки $n$ , об/с	2,972;
витрати барботуючого газу $q_g$ , м <sup>3</sup> /с	0,0756;
густина середовища $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	996;
динамічна в'язкість рідини $\mu_p$ , Па с	$804 \cdot 10^{-6}$ ;
поверхневий натяг рідини $\sigma$ , Н/м	0,0712;
коефіцієнт молекулярної дифузії $D_p$ , м <sup>2</sup> /с	$2,113 \cdot 10^{-9}$ ;
середня концентрація кисню в повітрі $y$ , кг/м <sup>3</sup>	0,21;
тиск над рідиною в ферментаторі $P$ , МПа	0,1.

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [5].

Відцентровий критерій Рейнольдса знаходимо по формулі:

$$Re_{відц} = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_c} = \frac{996 \cdot 2,972 \cdot 0,6^2}{805 \cdot 10^{-6}} = 1636545$$

Критерій потужності залежить від інтенсивності перемішування і характеризується відцентровим критерієм Рейнольдса ( $Re_{ц}$ ),  $K_N = f(Re_{ц})$ , при даному значенні  $Re_{відц}$  визначаємо по графіку :  $K_N = 0,2$ . Потужність, яка потребується на перемішування суміші визначаємо по формулі :

$$N_m = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 0,2 \cdot 996 \cdot 2,972^3 \cdot 0,6^5 = 688,897 \text{ Вт.}$$

При встановленні  $m$  мішалок на валу потужність, що витрачається на перемішування:

$$N_m = N_{\cdot} \cdot (0,4 + 0,6 \cdot m_y) = 688,897 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot 2) = 1102 \text{ Вт.}$$



Так як  $H_p > D$ , то визначаємо коефіцієнт враховуючий збільшення потужності:

$$K_H = \left( \frac{H_p}{D} \right)^{0,5} = \left( \frac{3,735}{2} \right)^{0,5} = 1,367.$$

Кінцеву розрахункову потужність визначаємо за формулою:

$$N'_M = K_H \cdot N_M = 1,367 \cdot 1102 = 1506 \text{ Вт.}$$

Витрати енергії на перемішування газорідинної суміші:

$$N_{гр} = N_M \cdot \left( 1 - 1,26 \cdot \frac{q_r}{n \cdot d_M} \right) = 1506 \cdot \left( 1 - 1,26 \cdot \frac{0,0756}{2,972 \cdot 0,6} \right) = 1434 \text{ Вт.}$$

Дисипація енергії, що вводиться в одиницю об'єму рідини перемішуючим пристроєм:

$$\varepsilon_M = \frac{N_{гр}}{V_p} = \frac{1434}{11,2} = 128,022 \text{ Вт/м}^3.$$

Дисипація енергії, що вводиться з барботуючим газом:

$$\varepsilon_r = \rho_p \cdot g \cdot W_r = 996 \cdot 9,81 \cdot 0,0241 = 235,245 \text{ Вт.}$$

Приведена швидкість в апараті:

$$W_r = \frac{q_r}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,0756}{0,785 \cdot 2^2} = 0,0241 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо газовміст системи за формулою Кальдербанка [5] методом послідовних наближень. Попередньо приймаємо  $\varphi_r = 0,1$ , тоді в першому наближенні:

$$\begin{aligned} \varphi_r &= \left( \frac{\varphi_r \cdot W_r}{U_n} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{\varepsilon_M^{0,4} \cdot \rho_p^{0,2}}{\sigma^{0,6}} \cdot \left( \frac{W_r}{U_n} \right)^{0,5} = \\ &= \left( \frac{0,1 \cdot 0,0241}{0,244} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{128,022^{0,4} \cdot 996^{0,2}}{0,0712^{0,6}} \cdot \left( \frac{0,0241}{0,244} \right)^{0,5} = 0,109 \text{ м}^3 / \text{м}^3, \end{aligned}$$

де  $U_n$  – швидкість спливання газових бульбашок:

$$U_n = 1,5 \cdot \left( \sigma \cdot g \cdot \frac{(\rho_p - \rho)}{\rho_p^2} \right)^{0,25} = 1,5 \cdot \left( 0,0712 \cdot 9,81 \cdot \frac{(996 - 1,165)}{996^2} \right)^{0,25} = 0,224 \text{ м/с.}$$

Приймаємо  $\varphi_r = 0,2$ .

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		57

Середній діаметр газових бульбашок:

$$d_{\delta}=4,15 \cdot \left[ \frac{\sigma^3}{\rho_p \cdot \varepsilon_m} \right]^{0,2} \cdot \varphi_r^{0,5} + 0,0009 = 4,15 \cdot \left[ \frac{0,0712^3}{996 \cdot 128,022^2} \right]^{0,2} \cdot 0,2^{0,5} + 0,0009 = 0,0146 \text{ м.}$$

Питома площа поверхні газових бульбашок з рівняння Кальдербанка [6, стр. 284]:

$$a = 1,44 \cdot \left( \frac{\varepsilon_m^{0,4} \cdot \rho_p^{0,2}}{\sigma^{0,6}} \right) \cdot \left( \frac{W_r}{U_n} \right)^{0,5} = 1,44 \cdot \left( \frac{128,022^{0,4} \cdot 996^{0,2}}{0,0712^{0,6}} \right) \cdot \left( \frac{0,0241}{0,224} \right)^{0,5} = 61,167 \text{ м}^2/\text{м}^3$$

Критерій Шервуда знаходимо за формулою:

$$\text{Sh} = 0,33 \cdot \left( \frac{n \cdot d_m \cdot d_{\delta}}{\mu_p} \right) \cdot \left( \frac{\mu_p}{D_p} \right)^{0,5} = 0,33 \cdot \left( \frac{2,972 \cdot 0,6 \cdot 0,0146}{804 \cdot 10^{-6}} \right) \cdot \left( \frac{804 \cdot 10^{-6}}{2,113 \cdot 10^{-9}} \right)^{0,5} = 7337$$

Поверхневий коефіцієнт масопереносу:

$$\beta_{\text{ж}} = \frac{\text{Sh} \cdot D_p}{d_{\delta}} = \frac{7337 \cdot 2,113 \cdot 10^{-9}}{0,0146} = 0,00106 \text{ м/с,}$$

Рівноважна концентрація кисню на межі розділу фаз:

$$x^* = \frac{y \cdot p \cdot \rho_p}{m} = \frac{0,21 \cdot 0,1 \cdot 996}{3270} = 0,006396 \text{ кг/м}^3,$$

де  $m$  – фазова рівновага при розчиненні кисню в воді в залежності від температури, при  $t = 30^\circ\text{C}$   $m = 3270$ , МПа.

Концентрація кисню розчиненого в об'ємі рідини:

$$x \approx 0,2 \cdot x^* = 0,21 \cdot 0,006396 = 0,001343 \text{ кг/м}^3.$$

За законом Шукарева потік маси, що забезпечується перемішуванням, дорівнює масі кисню, що витрачається на реакцію за одиницю часу:

$$Q_{O_2} = \beta_{\text{ж}} \cdot F \cdot (x^* - x) = 0,00106 \cdot 685,07 \cdot (0,006396 - 0,001343) = 0,00367 \text{ кг/с,}$$

де  $F$  – площа поверхні контакту фаз:

$$F = a \cdot V_p = 61,167 \cdot 11,2 = 685,07 \text{ м}^2.$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Піппис	Лат		58

Висновок: потік маси кисню від повітря до рідини при даному режимі перемішуванням пропелерною мішалкою складає 0,00367 кг/с, він менше ніж 0,00487 кг/с, що споживають клітини під час свого розвитку та життєдіяльності. Отже умови роботи ферментера не забезпечують перенос до біомаси необхідної кількості кисню.

#### 4.1.8 Розрахунок коефіцієнта масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідині пропелерна мішалка

Метою розрахунку є знаходження коефіцієнту масовіддачі та потоку маси  $O_2$  від газової фази до культуральної рідини, який забезпечується при даному режимі перемішування та витраті барботуючого газу.

Схема процесу переносу кисню у ферментаторі подана на рисунку 4.5.

Вихідні дані:

робочий об'єм ферментатора $V_p$ , $m^3$	11,2;
густина повітря $\rho_p$ , $kg/m^3$	1,165;
діаметр відкритої турбінної мішалки $d_m$ , м	1,8;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2;
висота рідини в ферментаторі $H_p$ , м	3,735;
частота обертання вала мішалки $n$ , об/с	0,885;
витрати барботуючого газу $q_g$ , $m^3/c$	0,0756;
густина середовища $\rho_p$ , $kg/m^3$	996;
динамічна в'язкість рідини $\mu_p$ , Па с	$804 \cdot 10^{-6}$ ;
поверхневий натяг рідини $\sigma$ , Н/м	0,0712;
коефіцієнт молекулярної дифузії $D_p$ , $m^2/c$	$2,113 \cdot 10^{-9}$ ;
середня концентрація кисню в повітрі $y$ , $kg/m^3$	0,21;
тиск над рідиною в ферментаторі $P$ , МПа	0,1.

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [5].

Відцентровий критерій Рейнольдса знаходимо по формулі:

$$Re_{відц} = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_c} = \frac{996 \cdot 0,885 \cdot 0,6^2}{805 \cdot 10^{-6}} = 3552152$$

Критерій потужності залежить від інтенсивності перемішування і характеризується відцентровим критерієм Рейнольдса ( $Re_{ц}$ ),  $K_N = f(Re_{ц})$ , при даному значенні  $Re_{відц}$  визначаємо по графіку :  $K_N = 0,3$ . Потужність, яка потребується на перемішування суміші визначаємо по формулі :

$$N_m = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 0,3 \cdot 996 \cdot 0,885^3 \cdot 1,8^5 = 3914 \text{ Вт.}$$

Так як  $H_p > D$ , то визначаємо коефіцієнт враховуючий збільшення потужності:

$$K_n = \left( \frac{H_p}{D} \right)^{0,5} = \left( \frac{3,735}{2} \right)^{0,5} = 1,367.$$

Кінцеву розрахункову потужність визначаємо за формулою:

$$N'_m = K_n \cdot N_m = 1,367 \cdot 3914 = 5348 \text{ Вт.}$$

Витрати енергії на перемішування газорідинної суміші:

$$N_{гр} = N'_m \cdot \left( 1 - 1,26 \cdot \frac{q_r}{n \cdot d_m} \right) = 5348 \cdot \left( 1 - 1,26 \cdot \frac{0,0756}{0,885 \cdot 1,8} \right) = 5028 \text{ Вт.}$$

Дисипація енергії, що вводиться в одиницю об'єму рідини перемішуючим пристроєм:

$$\varepsilon_m = \frac{N_{гр}}{V_p} = \frac{5028}{11,2} = 448,94 \text{ Вт/м}^3.$$

Дисипація енергії, що вводиться з барботуючим газом:

$$\varepsilon_r = \rho_p \cdot g \cdot W_r = 996 \cdot 9,81 \cdot 0,0241 = 235,245 \text{ Вт.}$$

Приведена швидкість в апараті:

$$W_r = \frac{q_r}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,0756}{0,785 \cdot 2^2} = 0,0241 \text{ м/с.}$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		60

Розраховуємо газовміст системи за формулою Кальдербанка [5] методом послідовних наближень. Попередньо приймаємо  $\varphi_r = 0,1$ , тоді в першому наближенні:

$$\varphi_r = \left( \frac{\varphi_r \cdot W_r}{U_n} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{\varepsilon_M^{0,4} \cdot \rho_P^{0,2}}{\sigma^{0,6}} \cdot \left( \frac{W_r}{U_n} \right)^{0,5} =$$

$$= \left( \frac{0,1 \cdot 0,0241}{0,244} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{448,94^{0,4} \cdot 996^{0,2}}{0,0712^{0,6}} \cdot \left( \frac{0,0241}{0,244} \right)^{0,5} = 0,115 \text{ м}^3 / \text{м}^3,$$

де  $U_n$  – швидкість спливання газових бульбашок:

$$U_n = 1,5 \cdot \left( \sigma \cdot g \cdot \frac{(\rho_P - \rho)}{\rho_P^2} \right)^{0,25} = 1,5 \cdot \left( 0,712 \cdot 9,81 \cdot \frac{(996 - 1,165)}{996^2} \right)^{0,25} = 0,224 \text{ м/с}.$$

Приймаємо  $\varphi_r = 0,2$ .

Середній діаметр газових бульбашок:

$$d_6 = 4,15 \cdot \left[ \frac{\sigma^3}{\rho_P \cdot \varepsilon_M} \right]^{0,2} \cdot \varphi_r^{0,5} + 0,0009 = 4,15 \cdot \left[ \frac{0,0712^3}{996 \cdot 448,94^2} \right]^{0,2} \cdot 0,2^{0,5} + 0,0009 =$$

$$= 0,00921 \text{ м}.$$

Питома площа поверхні газових бульбашок з рівняння Кальдербанка [6, стр. 284]:

$$a = 1,44 \cdot \left( \frac{\varepsilon_M^{0,4} \cdot \rho_P^{0,2}}{\sigma^{0,6}} \right) \cdot \left( \frac{W_r}{U_n} \right)^{0,5} = 1,44 \cdot \left( \frac{448,94^{0,4} \cdot 996^{0,2}}{0,0712^{0,6}} \right) \cdot \left( \frac{0,0241}{0,224} \right)^{0,5} =$$

$$= 101,037 \text{ м}^2 / \text{м}^3$$

Критерій Шервуда знаходимо за формулою:

$$\text{Sh} = 0,33 \cdot \left( \frac{n \cdot d_m \cdot d_6}{\mu_P} \right) \cdot \left( \frac{\mu_P}{D_P} \right)^{0,5} = 0,33 \cdot \left( \frac{2,972 \cdot 0,6 \cdot 0,00921}{804 \cdot 10^{-6}} \right) \cdot \left( \frac{804 \cdot 10^{-6}}{2,113 \cdot 10^{-9}} \right)^{0,5} = 3713$$

Поверхневий коефіцієнт масопереносу:

$$\beta_{\text{ж}} = \frac{\text{Sh} \cdot D_P}{d_6} = \frac{3713 \cdot 2,113 \cdot 10^{-9}}{0,00921} = 0,000852 \text{ м/с},$$

Рівноважна концентрація кисню на межі розділу фаз:

$$x^* = \frac{y \cdot P \cdot \rho_P}{m} = \frac{0,21 \cdot 0,1 \cdot 996}{3270} = 0,006396 \text{ кг/м}^3,$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		61

де  $m$  – фазова рівновага при розчиненні кисню в воді в залежності від температури, при  $t = 30^{\circ}\text{C}$   $m=3270$ , МПа.

Концентрація кисню розчиненого в об'ємі рідини:

$$x \approx 0,2 \cdot x^* = 0,21 \cdot 0,006396 = 0,001343 \text{ кг/м}^3.$$

За законом Шукарева потік маси, що забезпечується перемішуванням, дорівнює масі кисню, що витрачається на реакцію за одиницю часу:

$$Q_{O_2} = \beta_{\text{ж}} \cdot F \cdot (x^* - x) = 0,000852 \cdot 1132 \cdot (0,006396 - 0,001343) = 0,00487 \text{ кг/с},$$

де  $F$  – площа поверхні контакту фаз:

$$F = a \cdot V_p = 101,037 \cdot 11,2 = 1132 \text{ м}^2.$$

Висновок: потік маси кисню від повітря до рідини при даному режимі перемішуванням пропелерною мішалкою складає 0,00487 кг/с, він дорівнює 0,00487 кг/с, що споживають клітини під час свого розвитку та життєдіяльності. Отже умови роботи ферментера забезпечують перенос до біомаси необхідної кількості кисню.

#### 4.1.9 Розрахунок геометричних розмірів барботера

Мета: визначити геометричні розміри барботера.

Схема барботера показана на рисунку 4.6.

Вихідні дані:

витрата повітря  $G_{\text{пов}}$ , кг/с 0,02318;

густина повітря  $\rho_{\text{п}}$ , кг/м<sup>3</sup> 1,165.

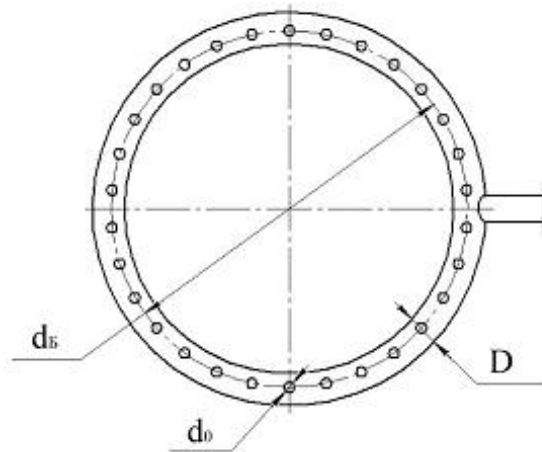


Рисунок 4.6 – Схема барботера

Розрахунок проводимо згідно методики в літературі [7].

Приймаємо, що швидкість виходу повітря з отворів барботеру становить 20 м/с.

Тоді площа усіх отворів барботера повинна становити:

$$\sum F_{\text{отв}} = \frac{G_{\text{пов}} \cdot \rho_{\text{пов}}}{W_{\text{пов}}} = \frac{0,02318 \cdot 1,165}{20} = 0,00135 \text{ м}^2.$$

Приймаємо, що діаметр одного отвору становить 5 мм з відповідною площею  $1,963 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ .

Визначаємо кількість отворів:

$$n_{\text{отв}} = \frac{\sum F_{\text{отв}}}{F_{\text{отв}}} = \frac{0,00135}{1,963 \cdot 10^{-5}} = 69 \text{ шт.}$$

Середній діаметр кільця барботера дорівнює діаметру мішалки:

$$d_{\text{барб}} = 0,35 \cdot d_{\text{м}} = 0,35 \cdot 0,6 = 0,2 \text{ м.}$$

Довжина кола на якому повинні бути розташовані отвори:

$$l_{\text{кола}} = d_{\text{барб}} \cdot 3,14 = 0,2 \cdot 3,14 = 0,628 \text{ м.}$$

Відстань між сусідніми отворами:

$$x = \frac{l_{\text{кола}}}{n_{\text{отв}}} = \frac{0,628}{68} = 0,0091 \text{ м.}$$

Визначаємо діаметр труби барботера:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		63

$$D_{\text{барб}} = 5 \cdot x = 5 \cdot 25 = 125 \text{ мм},$$

де  $x$  – відстань між рядами отворів,  $x = 25$  мм (рисунок 4.7).

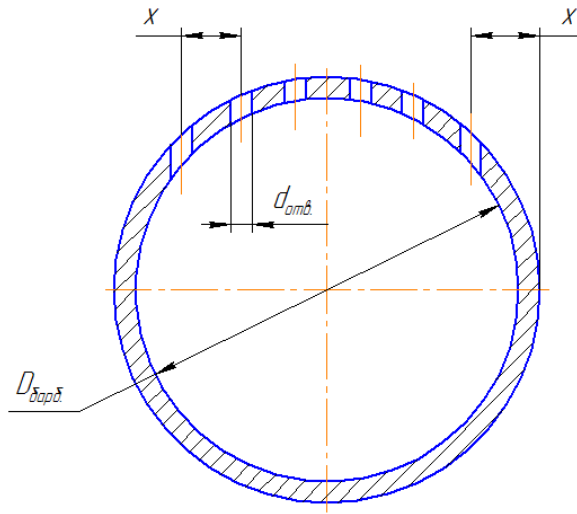


Рисунок 4.7 – Схема розташування рядів отворів в трубі барботера

Відстань між сусідніми отворами входить до рекомендованих  $t=25-30$  мм.

Висновок: В результаті розрахунку було прийнято: середній діаметр кільця барботера – 0,2 м, кількість отворів 69, розташованих в два ряди, і внутрішній діаметр труби барботера – 125 мм.

#### 4.1.10 Розрахунок теплового навантаження ферментатора

Метою розрахунку є визначення теплового потоку, який необхідно відводити водою під час роботи ферментатора.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.8.



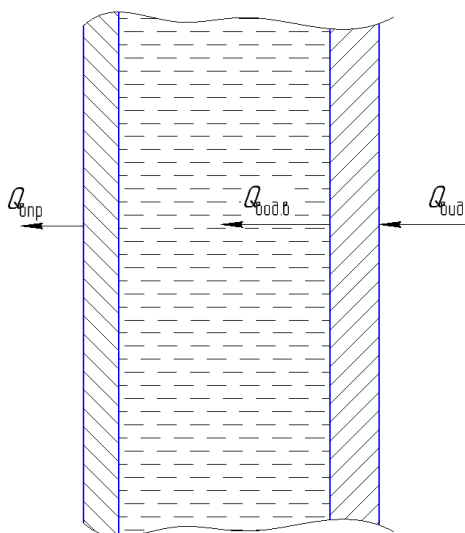


Рисунок 4.8 – Схема до розрахунку теплового навантаження ферментатора

Вихідні дані:

маса чистого цукру в ферментаторі  $m_{ц}$ , кг 119;

час роботи ферментера  $\tau$ , год 52.

Розрахунок теплового навантаження ферментатора здійснено за методикою наведеною в літературі з [5, стр. 72].

Рівняння утворення глютамінової кислоти:



Теплота реакції є різницею ентальпій продукту та компонентів кДж/моль:

$$Q_p = \Delta H = H_{\text{прод}} - H_{\text{комп}}$$

де  $H_{\text{прод}}$  – сумарна ентальпія продуктів реакції,  $H_{\text{комп}}$  – сумарна ентальпія речовин, що беруть участь в реакції.

За довідником визначаємо ентальпії речовин,  $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ :

$$\begin{array}{lll} H(\text{NH}_4\text{HCO}_3)=850, & H(1/3\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)=424,667, & H(3/2\text{O}_2)=13,1, \\ H(\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4)=2816, & H(4\text{CO}_2)=1574, & H(6\text{H}_2\text{O})=1716, \end{array}$$

Тоді

$$H_{\text{комп}} = 850 + 424,667 + 13,1 = 1287,767 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$H_{\text{прод}} = 2816 + 1574 + 1716 = 4299,7 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Підставимо значення:

$$Q_p = 4299,7 - 1287,767 = 3011,933 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Тепловиділення на один кілограм поживних речовин складає:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{Q_p}{M(\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4)} = \frac{3011,933}{0,147} = 20471,24 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Кількість біологічного тепла, що виділяється культурою:

$$Q_{\text{вид}} = \frac{m_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{ц}} \cdot 1000}{3600 \cdot \tau} = \frac{119 \cdot 20471,24 \cdot 1000}{3600 \cdot 52} = 13013,234 \text{ Вт}$$

Тепловий баланс ферментера має наступний вигляд:

$$Q = Q_{\text{вод.в}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{впр}},$$

де  $Q_{\text{вод.в}}$  - кількість теплоти, що відводиться водою, що протікає в оболоні ферментера

$Q_{\text{пов}}$  - кількість теплоти, що відводиться повітрям, (так як  $t_{\text{пов}} \approx 25^\circ\text{C}$ , то  $Q_{\text{пов}}$  дуже незначна величина);

$Q_{\text{впр}}$  - теплота, що відводиться від поверхні оболоні ферментера тепловипромінюванням, приймаємо 2% від  $Q$ :

$$Q_{\text{впр}} = 0,02 \cdot Q = 0,02 \cdot 13013,234 = 260,265 \text{ Вт}$$

Тоді тепло, що повинно відводитись водою:

$$Q_{\text{вод.в}} = Q_{\text{вид}} - Q_{\text{впр}} = 13013,234 - 260,265 = 12752,969 \text{ Вт.}$$

Але ще треба враховувати потужність на перемішування, тому тепло, що відводиться водою дорівнює

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$$Q_B = Q_{\text{вод.в}} + N = 12753 + 7500 = 20253 \text{ Вт.}$$

Висновок: Тепловий потік, який необхідно відводити під час роботи ферментера дорівнює  $Q_B = 20253 \text{ Вт}$ . Цей потік необхідно відводити через поверхню теплообміну, яка повинна бути не меншою ніж та, що є в апараті.

#### 4.1.11 Розрахунок поверхні теплообміну

Метою розрахунку є визначення площі поверхні теплообміну.

Схема передачі тепла від одного теплоносія іншому через стінку апарата подана на рисунку 4.9.

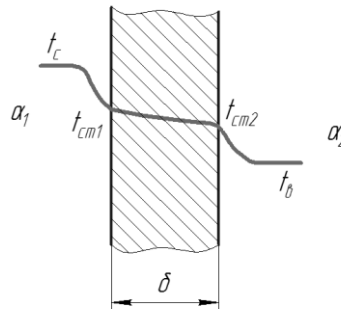


Рисунок 4.9 – Схема теплопередачі через стінку апарата

Вихідні дані:

внутрішній діаметр оболонки апарата $D_p$ , м	2,1;
товщина стінки корпусу апарата $\delta$ , м	0,014;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2;
частота обертання мішалки $n$ , об/с	2,972;
діаметр відкритої турбінної мішалки $d_m$ , м	0,6;
температура води при вході в оболонку $t_1$ , К	285;
температура води при виході з оболонки $t_2$ , К	301;
температура середовища $t$ , К	303;
витрата рідини $Q_B$ , Вт	20253.

Розрахунок проводимо за методикою, наведеною у літературі [6, стр.168].

Теплофізичні властивості поживного середовища вибираємо за температурою середовища 303 К:

$$\begin{aligned}\rho_{\text{nc}} &= 996 \text{ кг/м}^3 \\ c_{\text{nc}} &= 4,18 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)} \\ \lambda_{\text{nc}} &= 0,618 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \\ \mu_{\text{nc}} &= 0,804 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}\end{aligned}$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_6 = t - t_1 = 303 - 285 = 18 \text{ К.}$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_m = t - t_2 = 303 - 301 = 2 \text{ К.}$$

Середній температурний напір:

$$\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{18}{2} = 9 \geq 2 \Rightarrow \Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}\right)} = \frac{18 - 2}{\ln\left(\frac{18}{2}\right)} = 7,282 \text{ К.}$$

Середня температура охолоджуючої води:

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_2 + t_1}{2} = \frac{301 + 285}{2} = 293 \text{ К.}$$

Температура стінки апарату:

$$t_{\text{ст}} = \frac{t - t_{\text{сер}}}{2} = \frac{303 - 293}{2} = 298 \text{ К.}$$

Теплофізичні властивості рідини прийняті при середній температурі 298К:

$$\begin{aligned}\rho_p &= 999,737 \text{ кг/м}^3 \\ c_p &= 4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)} \\ \lambda_p &= 0,572 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \\ \mu_p &= 1,482 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}\end{aligned}$$

Визначення для апаратів з оболонками при перемішуванні мішалкою коефіцієнту тепловіддачі від середовища до стінки апарата:

Критерій Рейнольдса при перемішуванні:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$$Re_m = \frac{\rho_{nc} \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_{nc}} = \frac{996 \cdot 2,972 \cdot 0,6^2}{804 \cdot 10^{-6}} = 1325601$$

Критерій Прандтля:

$$Pr_1 = 5,42$$

Критеріальне рівняння для визначення критерію Нусельта процесу тепловіддачі від середовища до стінки апарата:

$$Nu = 0,36 \cdot Re^{0,67} \cdot Pr_1^{0,33} \cdot \left( \frac{\mu_p}{\mu_{ст}} \right)^{0,14} = 0,36 \cdot 1325601^{0,67} \cdot 5,42^{0,33} \cdot \left( \frac{0,804 \cdot 10^{-3}}{0,928 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} = 7795$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_{nc}}{D} = \frac{7795 \cdot 0,618}{2} = 2409 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Визначення для апаратів з оболонками при перемішуванні мішалкою коефіцієнту тепловіддачі від стінки ферментера до рідини:

Площа перетину оболонки:

$$f = \frac{\pi \cdot (D_{об}^2 - (D + 2 \cdot \delta)^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (2,1^2 - (2 + 2 \cdot 0,014)^2)}{4} = 0,233 \text{ м}^2$$

Витрата води:

$$G_b = \frac{Q_b}{c_b \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{20253}{4180 \cdot (301 - 285)} = 0,302 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Швидкість води в оболоні ферментера:

$$w = \frac{G_b}{f \cdot \rho_b} = \frac{0,302}{0,233 \cdot 999,74} = 0,00129 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{0,00129 \cdot 0,072 \cdot 999,74}{1,482 \cdot 10^{-3}} = 62,907$$

Оскільки критерій Рейнольдса дорівнює 62,907, то це ламінарний режим. Тоді розрахунок ведеться за [8] для ламінарного режиму.

Спочатку визначимо коефіцієнт тепловіддачі не враховуючи конвекцію:

Критерій Прандтля:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

$$Pr_2 = \frac{\mu_p \cdot c_p}{\lambda_p} = \frac{1,482 \cdot 10^{-3} \cdot 4,19}{0,572} = 10,856$$

Критеріальне рівняння для визначення критерію Нусельта процесу тепловіддачі від середовища до стінки апарата:

$$Nu = 1,55 \cdot \left( Re \frac{d}{H_p} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu_p}{\mu_{ст}} \right)^{0,14} = 1,55 \cdot \left( 62,907 \frac{0,176}{3} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{1,482 \cdot 10^{-3}}{0,928 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} = 1,899$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_p}{H_p} = \frac{1,899 \cdot 0,572}{3} = 0,359 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Так, як  $\alpha_2$  вийшло дуже маленьке тоді в рубашку ми добавимо перегородки розмірами  $b = 0,03$  м та  $l = 0,34$  м та робимо перерахунок.

Швидкість між перегородками:

$$w = \frac{G_B}{(b \cdot l) \cdot \rho_B} = \frac{0,302}{(0,065 \cdot 0,14) \cdot 999,74} = 0,0332 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Еквівалентний діаметр

$$d_e = \frac{4(b \cdot l)}{2(b+l)} = \frac{4(0,03 \cdot 0,34)}{2(0,03+0,34)} = 0,0551 \text{ м.}$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \cdot d_e \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{0,139 \cdot 0,0551 \cdot 999,74}{1,482 \cdot 10^{-3}} = 1102$$

Критерій Нусельта:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left( \frac{\mu_p}{\mu_{ст}} \right)^{0,25} = 0,021 \cdot 1102^{0,8} \cdot 10,856^{0,43} \cdot \left( \frac{1,482 \cdot 10^{-3}}{0,928 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} = 17,869$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_p}{d_e} = \frac{17,869 \cdot 0,572}{0,0551} = 185,377 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі знайдемо з рівняння:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2409} + \frac{0,012}{15} + \frac{1}{185,377}} = 148,304 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		70

Площа поверхні теплообміну ферментера:

$$F = \frac{Q}{K \cdot t_{cp}} = \frac{20253}{148,304 \cdot 7,282} = 18,754 \text{ м}^2$$

Максимальна площа поверхні, яка є в ферментері:

$$F_{max} = \pi \cdot (D + 2 \cdot \delta) \cdot H_p = 3,14 \cdot (2 + 2 \cdot 0,012) \cdot 3 = 19,066 \text{ м}^2$$

Необхідна площа поверхні теплообміну дорівнює  $F = 18,754 \text{ м}^2$ , а максимальна площа поверхні, яка є в ферментері дорівнює  $F_{max} = 19,066 \text{ м}^2$ .

Висновок: Отже поверхня теплообміну в  $18,754 \text{ м}^2$ , що є в апараті достатня для того, щоб відводити тепловий потік  $Q_{вод} = 20253 \text{ Вт}$ .

#### 4.1.12 Розрахунок гідравлічного опору

Мета розрахунку: розрахувати втрати тиску в оболоні.

Вихідні дані:

втрата води $V$ , м <sup>3</sup> /с	0,000302;
критерій Рейнольдса $Re$	62,907;
швидкість води $w$ , м/с	0,0332;
висота оболоні $H_p$ , м	3;
густина води $\rho_p$ , м	999,74;
внутрішній діаметр оболонки апарата $D_p$ , м	2,1;
товщина стінки корпусу апарата $\delta$ , м	0,012;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2;
кінематична в'язкість $\nu$ , м <sup>2</sup> /с	$1,482 \cdot 10^{-6}$ .

Розрахунок ведемо за методикою викладеною в [6, стр. 21].

Втрата тиску на створення швидкості потоку :

$$\Delta p_{ув} = \frac{w^2 \rho}{2} = \frac{0,0332^2 \cdot 999,74}{2} = 0,551 \text{ Па.}$$

Втрата тиску на прямій ділянці:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		71

$$\Delta p_{mp} = \lambda \cdot \frac{H_p}{d_e} \cdot \frac{w^2 \rho}{2} = 1,0174 \cdot \frac{3}{0,084} \cdot \frac{0,0359^2 \cdot 999,74}{2} = 23,591 \text{ Па},$$

де  $d_e = 0,084$  – еквівалентний діаметр, м;

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{62,907} = 1,0174 – \text{коефіцієнт тертя, який залежить від режиму руху}$$

течії.

Втрата тиску на місцеві опори:

$$\Delta p_{mc} = \sum \xi \cdot \frac{w^2 \rho}{2} = (0,81 + 0,45) \cdot \frac{0,0332^2 \cdot 999,74}{2} = 0,695 \text{ Па},$$

де  $\sum \xi = \xi_p + \xi_z$  – сума коефіцієнтів місцевого опору,  $\xi_p = 0,81$  для розширення та  $\xi_z = 0,45$  для звуження.

Втрата тиску на підняття рідини:

$$\Delta p_{nido} = \rho \cdot g \cdot H_p = 999,74 \cdot 9,81 \cdot 3 = 36629,464 \text{ Па}.$$

Сумарна втрата тиску:

$$\Delta p = \Delta p_{ув} + \Delta p_{mp} + \Delta p_{mc} + \Delta p_{nido} = 0,551 + 23,591 + 0,695 + 36629,464 = 36654,3 \text{ Па}.$$

Потужність, яка споживається насосом:

$$N = \frac{V \Delta p}{1000 \eta} = \frac{0,000302 \cdot 36654,3}{1000 \cdot 0,6} = 0,0185 \text{ кВт}$$

Висновок: таким чином втрати тиску у оболоні складають 36660,87 Па.

Потужність, яка необхідна для переміщення рідини  $N = 0,0185$  кВт.

#### 4.1.13 Розрахунок циліндричної обичайки оболонки апарата на дію внутрішнього тиску

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		72



Метою розрахунку є знайти мінімальну розрахункову товщину стінки рубашки апарата яка задовольняє умові міцності при дії лише внутрішнього тиску та порівняти її з наявною товщиною стінки.

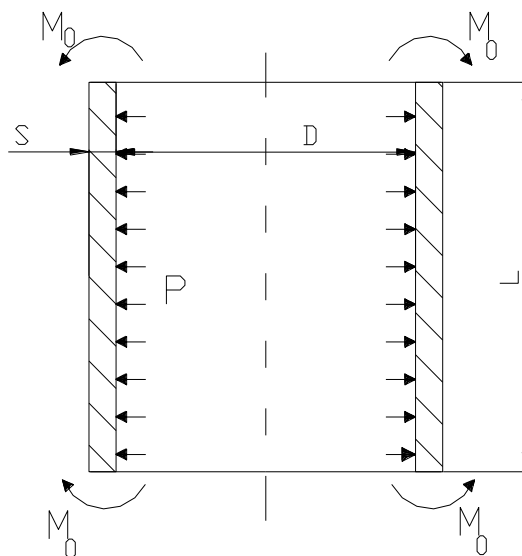


Рисунок 4.10 - Розрахункова схема апарата навантаженого внутрішнім тиском

#### Вихідні дані

розрахунковий тиск $P$ , МПа	0,3;
межа плинності матеріалу обичайки $\sigma_t$ , МПа	205;
внутрішній діаметр обичайки $D$ , м	2;
коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi_p$	0,9;
коефіцієнт запасу міцності $n_t$	1,5.

Розрахунок циліндричної обичайки оболонки апарата на дію внутрішнього тиску ведемо за безмоментною теорією наведеною в літературі [3].

Допустиме напруження для матеріалу обичайки:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_t}{n_t} = \frac{205}{1,5} = 136,37 \text{ МПа}$$

Розрахункова товщина стінки з умові міцності:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P} = \frac{0,3 \cdot 2}{2 \cdot 136,37 \cdot 0,9 - 0,3} = 2,442 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		73

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії приймаємо рівним  $C_e = 0$ , додаток до мінусового відхилення  $C_2 = 0,8$  мм, технологічний додаток до розрахункової товщини  $C_3 = 0$ .

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні  $S'$ :

$$S' = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 2,442 + 0,5 + 0,8 + 0 = 3,742 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S = 4$  мм.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$\frac{S + C}{D} = \frac{5 \cdot 10^{-3} + 1,3 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,00315 < 0,1$$

$$S \geq \frac{D}{1000} + 2,5 \cdot 10^{-3} = \frac{2}{1000} + 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,045 \text{ м.}$$

$$5 \cdot 10^{-3} \text{ м} > 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Умови застосування розрахункових формул виконуються.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск  $[p]$ .

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 136,67 \cdot 1 \cdot (5 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-3})}{2 + 5 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-3}} = 0,454 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності

$$p \leq [p] \quad 0,3 \text{ МПа} \leq 0,454 \text{ МПа}$$

Висновок:

Товщина стінки апарата, яка задовольняє умовам міцності при дії лише внутрішнього тиску дорівнює  $S=5$  мм, але на обичайку ще діє тиск який створюється в рубашці апарата, тому в наступному пункті ми обрахуємо обичайку під дією зовнішнього тиску.

#### 4.1.14 Розрахунок циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском, осьюовою стискаючою силою, та згинаючим моментом

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Метою розрахунку є визначення мінімальної допустимої товщини стінки корпусу апарата, яка задовольняє умови міцності та стійкості обичайки, знайти допустимий тиск, допустиму осьову стискаючу силу та допустимий згинаючий момент.

Розрахункова схема показана на рисунку 4.11.

Вихідні дані

коефіцієнт запасу стійкості $n_y$	2,4;
коефіцієнт запасу міцності $n_t$	1,5;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2;
розрахунковий тиск $p_n$ , МПа	0,35;
модуль пружності матеріалу обичайки $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;
осьова стискаюча сила $F$ , МН	0;
вигинаючий момент $M$ , кН·м	0;
довжина циліндричної обичайки $L$ , м	3;
межа плинності матеріалу обичайки $\sigma_t$ , МПа	205;
прибавка до розрахункової товщини стінки:	
прибавка, яка враховує корозію $C_1$ , м	0,0005;
технологічна прибавка $C_2$ , м	0,0008.

Розрахунок проводимо за методикою, наведеною у літературі [9].

Знайдемо допустиме напруження:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_t}{n_t} = \frac{205}{1,5} = 136,67 \text{ МПа.}$$

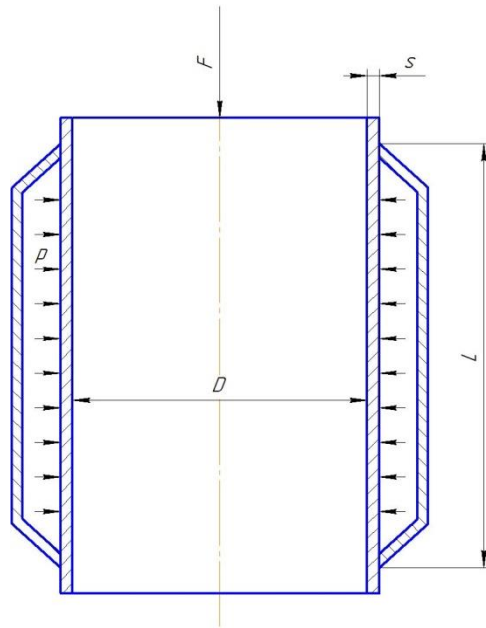


Рисунок 4.11 - Розрахункова схема обичайки навантаженою осьовою стискаючою силою, зовнішнім тиском, та вигинаючим моментом

Визначення коефіцієнтів:

$$k_1 = \frac{n_y \cdot p_n}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = \frac{2,4 \cdot 0,35}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,98 \cdot 10^5} = 1,529;$$

$$k_3 = \frac{L}{D} = \frac{3}{2} = 1,5.$$

За [9], рисунок 5, знаходимо коефіцієнт  $k_2$ :  $k_2 = 0,6$ .

Визначаємо розрахункову товщину стінки ферментатора:

$$S_R = \max \left\{ k_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p_n \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = \max \left\{ 0,6 \cdot 2 \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot 0,35 \cdot 2}{2 \cdot 136,67} \right\} = \\ = \max \{ 0,012; 0,00188 \} = 0,0106 \text{ м.}$$

Товщина стінки з урахуванням суми прибавок до розрахункової товщини стінки:

$$S = S_R + C = 0,012 + 0,0013 = 0,0133 \text{ м.}$$

Товщину стінки приймаємо  $S = 14 \text{ мм}$ .

Допустимий тиск з умов міцності:

$$[P]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 136,67 \cdot (0,014 - 0,0013)}{2 + 0,014 - 0,0013} = 1,725 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск з умови стійкості:

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L} \left[ \frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5} =$$

$$= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,98 \cdot 10^5 \cdot 2}{2,4 \cdot 1 \cdot 3,8} \left[ \frac{100(0,014 - 0,0013)}{2} \right]^{2,5} = 0,368 \text{ МПа,}$$

де

$$B_1 = \min \left\{ 1, 0; 9,45 \frac{D}{L} \sqrt{\frac{D}{100(S - C)}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 1, 0; 9,45 \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{100(0,014 - 0,0013)}} \right\} = \min \{ 1, 0; 17,788 \} = 1.$$

Визначаємо допустимий тиск:

$$[P] = \frac{[P]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_n}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{1,725}{\sqrt{1 + \left( \frac{1,725}{0,368} \right)^2}} = 0,359 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови стійкості обичайки:

$$\frac{P}{[P]} \leq 1;$$

$$\frac{0,35}{0,359} = 0,974 < 1.$$

Отже, умова стійкості виконується.

Висновки:

Розрахункова товщина стінки оболонки, яка задовольняє умовам міцності при дії зовнішнього тиску дорівнює  $S_p = 14 \text{ мм}$ .

#### 4.1.15 Розрахунок еліптичного днища та еліптичної кришки

Метою розрахунку є знайти товщину стінки еліптичного днища.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		77

Схема до розрахунку подана на рисунку 4.12.

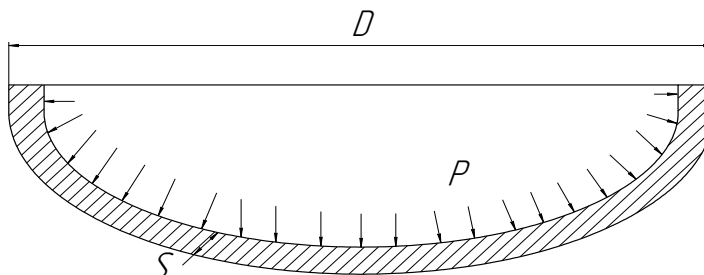


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема еліптичного днища, навантаженої внутрішнім тиском

Вихідні дані:

внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2;
межа плинності матеріалу $\sigma_t$ , МПа	205;
коефіцієнт запасу міцності $n_t$	1,5;
коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi$	0,9;
розрахунковий тиск (тиск стерилізації) $P$ , МПа	0,3;
сума прибавок до розрахункової товщини стінки $C$ , м	0,0013.

Розрахунок ведемо по методиці, наведеною в літературі [9].

Допустиме напруження матеріалу:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_t}{n_t} = \frac{205}{1,5} = 136,67 \text{ МПа}.$$

Розрахункова товщина стінки еліптичного днища:

$$S_R = \frac{P \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P} = \frac{0,3 \cdot 2}{2 \cdot 0,9 \cdot 136,67 - 0,5 \cdot 0,3} = 0,002441 \text{ м}$$

Товщина стінки з урахуванням суми прибавок до розрахункової товщини стінки:

$$S = S_R + C = 0,002441 + 0,0013 = 0,003741 \text{ м}$$

Товщину стінки приймаємо з конструктивних міркувань:  $S = 14 \text{ мм}$ .

Допустимий внутрішній тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot \varphi \cdot (S - C) \cdot [\sigma]}{R + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot (0,014 - 0,0013) \cdot 180 \cdot 10^6}{2 + 0,5 \cdot (0,014 - 0,0013)} = 1,557 \text{ МПа}$$

Перевірка міцності:

$$P < [P]$$

$$0,3 < 1,557$$

Умова міцності виконується.

Висновок: Товщина стінки еліптичного днища оболоні дорівнює  $S = 16 \text{ мм}$ , при якій задовольняється умова міцності.

#### 4.1.16 Розрахунок штуцерів

Мета: Виконати розрахунок геометричних параметрів штуцерів.

Порядок розрахунку розмірів штуцерів та методика проведення даного розрахунку складена згідно [10], і передбачає підрахунок діаметру штуцера.

Вихідні дані:

масові витрати води, кг/с, $G_1$	0,303;
густина води, кг/м <sup>3</sup> , $\rho_1$	999,733;
масові витрати повітря, кг/с, $G_2$	0,0232;
густина повітря, кг/м <sup>3</sup> , $\rho_2$	1,165;
масові витрати сировини, кг/с, $G_3$	1413,36;
густина води, кг/м <sup>3</sup> , $\rho_3$	996;

Порядок розрахунку:

Діаметр штуцерів визначається за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi w \rho}},$$

де  $G$  – масовий видаток теплоносія,  $\rho$  – густина теплоносія,  $w$  – швидкість руху теплоносія в штуцері.

Приймаємо швидкість руху води в штуцері  $w = 1,5$  м/с, швидкість руху середовища та продукту в штуцері  $w = 20$  м/с, швидкість руху повітря в штуцері  $w = 14$  м/с.

Діаметр патрубку для подачі та відведення води:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\rho_1 \cdot \pi \cdot W_{01}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,302}{999,737 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,01602 \text{ м}$$

Вибираємо штуцер для подачі та відведення води:

Діаметр штуцера:  $d_T = 0,025$  м

Товщина стінки штуцера:  $s_T = 0,003$  м

Виліт:  $H_T = 0$  м.

Діаметр патрубку для подачі та відведення повітря:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\rho_2 \cdot \pi \cdot W_{02}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0232}{1,165 \cdot 3,14 \cdot 14}} = 0,04255 \text{ м}$$

Вибираємо штуцер для подачі та відведення повітря:

Діаметр штуцера:  $d_T = 0,045$  м

Товщина стінки штуцера:  $s_T = 0,003$  м

Виліт:  $H_T = 0,155$  м.

Діаметр патрубку входу середовища та виходу продукту:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_3}{\rho_3 \cdot \pi \cdot W_{03}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1413,36}{996 \cdot 3,14 \cdot 20}} = 0,300 \text{ м}$$

Вибираємо штуцер входу середовища та виходу продукту:

Діаметр штуцера:  $d_T = 0,325$  м

Товщина стінки штуцера:  $s_T = 0,01$  м

Виліт:  $H_T = 0,21$  м.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

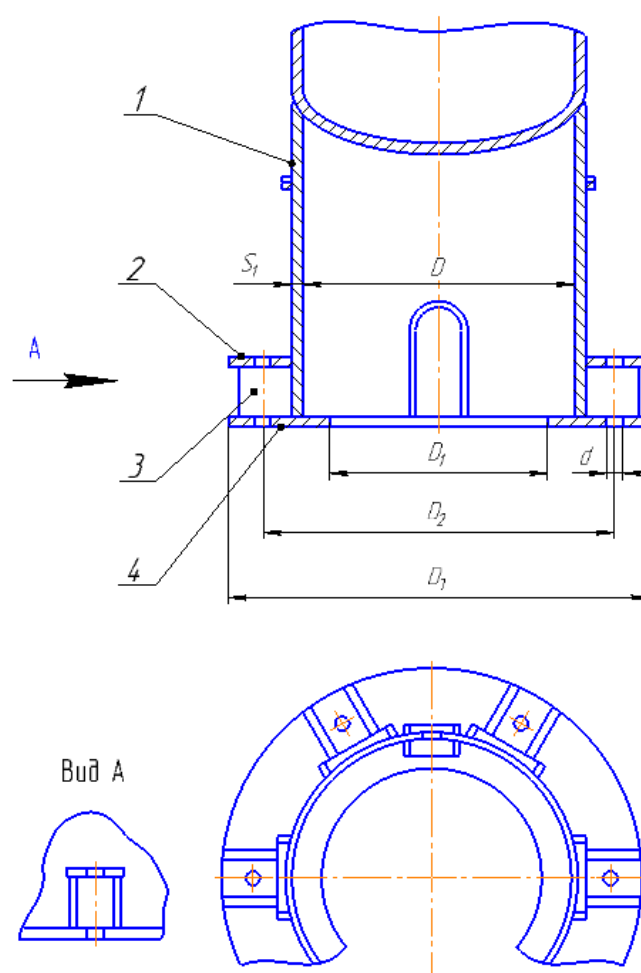


Висновок: В ході проведених розрахунків було підібрано штуцери для подачі та відведення: води, середовища та повітря.

#### 4.1.17 Вибір опори ферментера

Метою розрахунку є : розрахунок та вибір опори апарата.

Схема до розрахунку опори ферментера наведена на рисунку 4.13.



1 – обичайка; 2 – планка; 3 – ребро; 4 – кільце нижнє

Рисунок 4.13 – Схема розрахунку опори ферментера

Вихідні дані:

внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2;
внутрішній розрахунковий тиск $P$ , МПа	0,3;
товщина стінки оболонки апарата $S$ , мм	16;
допустиме напруження $[\sigma]$ , МПа	136,67;
коефіцієнт міцності зварного шва $\Phi$	0,9;
прибавка до розрахункової товщини $C$ , мм	1,3.

Розрахунок ведеться згідно з [11].

Опори для апаратів обираються з розрахунку максимального навантаження, яку опора повинна витримувати під час випробувань.

Визначимо максимальну масу, що діє на опору за наступною формулою:

$$M_{\max} = M_{\text{ап}} + M_{\text{вод}} + M_{\text{пр}} + M_{\text{вал}} + 2 \cdot M_{\text{міш}} + 2 \cdot M_{\text{муф}} + M_{\text{сал}} + M_{\text{ре}} =$$

$$= 5561,972 + 16000 + 390 + 520,099 + 2 \cdot 22 + 2 \cdot 105 + 41,8 + 556,197 = 23324,07 \text{ кг}$$

де маса апарата визначається за наступною формулою:

$$M_{\text{ап}} = \pi \frac{(D_{\text{ап}} + S_{\text{ап}})^2 - D_{\text{ап}}^2}{4} \cdot H_{\text{ап}} \cdot \rho_{\text{ст}} + 2 \cdot M_{\text{дн}} =$$

$$= \pi \frac{(2 + 0,016)^2 - 2^2}{4} \cdot 5,43 \cdot 7920 + 2 \cdot 603,1 = 5561,972 \text{ кг}$$

$M_{\text{дн}} = 603,1 \text{ кг}$  - маса днища;  $M_{\text{пр}} = 390 \text{ кг}$  - маса приводу;  $M_{\text{міш}} = 22 \text{ кг}$  - маса мішалки;  $M_{\text{муф}} = 105 \text{ кг}$  - маса муфти;  $M_{\text{сал}} = 41,8 \text{ кг}$  - маса сальника;

Маса води при гідровипробуваннях визначається за формулою:

$$M_{\text{вод}} = V_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{вод}} = 16 \cdot 1000 = 16000 \text{ кг}$$

Маса вала визначається за наступною формулою:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		82

$$M_{\text{вал}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вал}}^2}{4} \cdot h_{\text{вал}} \cdot \rho_{\text{ст}} = \frac{\pi \cdot 0,13^2}{4} \cdot 4,95 \cdot 7920 = 520,099 \text{ кг}$$

Маса решти деталей визначається за наступною формулою:

$$M_{\text{ре}} = 0,1 \cdot M_{\text{ап}} = 0,1 \cdot 6321,956 = 632,196 \text{ кг} - \text{маса решти.}$$

Переведемо масу в навантаження за наступною формулою:

$$Q = \frac{M_{\text{max}} \cdot g}{10^6} = \frac{23324,07 \cdot 9,81}{10^6} = 0,229 \text{ МН}$$

Підберемо відповідну опору за навантаженням за АТК 24.200.04-90 [11]:

$$Q = 0,32 \text{ МН};$$

$D_{\text{оп}} = 3,4 \text{ м}$  – діаметр опорної обичайки;

$$D_1 = 2,016 \text{ м}; D_2 = 2,18 \text{ м};$$

$$D_3 = 2,300 \text{ м}; d = 0,060 \text{ м.}$$

Висновок: В ході проведених розрахунків було обрано та розраховано опору для ферментера.

#### 4.1.18 Розрахунок сальникового ущільнення з м'якою набивкою

Метою розрахунку є знайти витрати потужності на подолання сил тертя в одному сальниковому ущільненні вала перемішуючого пристрою.

Схема до розрахунку сальникового ущільнення подана на рисунку 4.14.

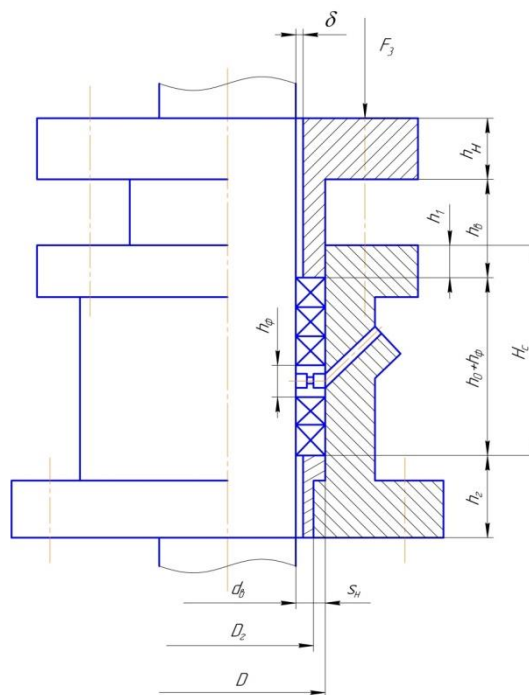


Рисунок 4.14 – Розрахункова схема сальникового ущільнення

Вихідні данні

Діаметр вала  $d_g$ , мм 130;

Кутова швидкість обертання вала  $\omega$ , рад/с 18,67.

Розрахунок ведемо по методиці, наведеній в літературі [12].

Товщина набивки:

$$s_n = (1,5 \div 2,5) \cdot \sqrt{d_g} = 2 \cdot \sqrt{130} = 22,804 \text{ мм},$$

де коефіцієнт приймаємо рівним 2.

Отримане значення  $s_n$  округляємо до найближчого з стандартного значення з ряду  $s_n = 25$  мм. Ширина сальникової камери, як правило, дорівнює товщині набивки  $s_n$ .

Початкова висота набивки (до затяжки болтів) залежить від тиску та характеру ущільнювального середовища и приймається:

$$h_0 = (6 \div 8) \cdot s_n = 7 \cdot 0,025 = 0,175 \text{ м},$$

де коефіцієнт приймаємо рівним 7.

Висота набивки в робочому стані:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		84

$$h = K_y \cdot h_0 = 0,8 \cdot 0,175 = 0,14 \text{ м,}$$

де  $K_y$  – коефіцієнт усадки набивки, знаходиться з таблиці та рисунку. Так як  $s_n > 19$  мм, то  $K_y = K_1 \cdot 0,8 = 0,8$ , де  $K_1$  вибирається в залежності від орієнтовного значення тиску нажимної втулки, дорівнює 1; коефіцієнт приймаємо рівним 0,8.

Повна глибина розточення сальникової камери з урахуванням встановлення ліхтарного кільця для підводу замикаючої рідини та забезпечення направлення нажимної втулки:

$$H_c = h_0 + 2s_n + h_\phi = 0,14 + 2 \cdot 0,025 + 0,0375 = 0,263 \text{ м}$$

де  $2s_n$  – прибавка до висоти для забезпечення направлення нажимної втулки;  $h_\phi$  – висота ліхтаря,  $h_\phi = (1,5 \div 2) \cdot s_n = 1,5 \cdot 0,025 = 0,0375$  м, коефіцієнт приймаємо рівним 1,5.

Висота циліндричної частини нажимної втулки:

$$h_g = (0,4 \div 0,5) \cdot h_0 = 0,45 \cdot 0,14 = 0,0788 \text{ м,}$$

де коефіцієнт приймаємо 0,45.

Висота (товщина) фланця нажимної втулки:

$$h_n = 1,25 \cdot d_\phi = 1,25 \cdot 0,018 = 0,0225 \text{ м}$$

де  $d_\phi$  – діаметр стяжних болтів або шпильок,  $d_\phi = 18$  мм.

Орієнтовна висота грандбукси:

$$h_z = \max \left\{ \begin{array}{c} (\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}) d_g \\ 20 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \frac{1}{3,5} \cdot 130 \\ 20 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} 37,143 \\ 20 \end{array} \right\} = 37,143 \text{ мм,}$$

де коефіцієнт приймаємо  $\frac{1}{3,5}$ .

Посадочний діаметр грудбукси:

$$D_z = d_g + (1 \div 1,5) \cdot s_n = 0,13 + 1,25 \cdot 0,025 = 0,161 \text{ м,}$$

де коефіцієнт приймаємо 1,25.

Внутрішній діаметр сальникової камери:

$$D = d_g + 2 \cdot s_n = 0,13 + 2 \cdot 0,025 = 0,18 \text{ м.}$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		85

Зазор між валом и нажимною втулкою:

$$\delta = \min \left\{ \left( \frac{1}{200} \div \frac{1}{250} \right) d_g \right\} = \left\{ \frac{1}{225} \cdot 130 \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0,578 \\ 0,8 \end{matrix} \right\} = 0,6 \text{ мм.}$$

де коефіцієнт приймаємо  $\frac{1}{225}$ .

Приймаємо такий же зазор між нажимною втулкою та сальникової камери.

Внутрішній діаметр різьби стяжних болтів (шпильок):

$$d_p = \sqrt{\frac{2(D^2 - d_g^2)p}{n_\sigma [\sigma]_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (2^2 - 0,13^2) \cdot 0,1}{6 \cdot 26}} = 0,00446 \text{ м}$$

де – кількість болтів (шпильок), вибираємо з конструктивних міркувань з ряду 2; 4; 6; 8; 12 ... и далі, кратне 4, приймаємо 6; – допустиме напруження, яке виходячи з умов тривалої експлуатації різьби болтів (шпильок) приймається рівним 25-35 Мпа.

Зусилля затяжки болтів, з яким взаємодіє нажимна втулка на сальникову набивку для забезпечення герметичності:

$$F_3 = \left[ \pi \frac{(D - d_g) p_z}{4 \cdot k} \right] \cdot e^{\frac{2 \cdot k \cdot f \cdot h}{s_n}} = \left[ \pi \frac{(0,18 - 0,130) 30000}{4 \cdot 1} \right] \cdot e^{\frac{2 \cdot 1 \cdot 0,08 \cdot 0,14}{0,025}} = 2885$$

Сила тертя між набивкою та валом:

$$F_{mp} = \left[ \frac{\pi \cdot d_g \cdot f_{кин} \cdot p_z \cdot s_n}{2 \cdot k \cdot f} \right] \cdot \left( e^{\frac{2 \cdot k \cdot f \cdot h}{s_n}} - 1 \right) = \left[ \frac{3,14 \cdot 0,13 \cdot 0,2 \cdot 30000 \cdot 0,025}{2 \cdot 1 \cdot 0,08} \right] \cdot \left( e^{\frac{2 \cdot 1 \cdot 0,08 \cdot 0,14}{0,025}} - 1 \right) = 554,814 \text{ Н}$$

де  $k$  – коефіцієнт бокового тиску, приймаємо  $k = k_1 = 1$ , тому що набивка просочена;  $f$  – коефіцієнт статичного тертя, приймаємо що вал та сальникова камера мають 8 клас шорховатості розраховуємо за формулою  $f = \frac{f'}{k_1} = \frac{0,08}{1} = 0,08$ , де  $f' = 0,08$  приймаємо з рисунку;  $f_{кин}$  – коефіцієнт кінетичного тертя,  $f_{кин} = 0,2$  вибираємо з рисунка;  $p_z$  – тиск герметичності, так як  $p < 0,3$ , то  $p_z = 0,3$ .

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		86

Момент тертя в сальниковому ущільненні вала:

$$M_{mp} = F_{mp} \frac{d_g}{2} = 554,814 \cdot \frac{0,130}{2} = 36,063 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Потужність, яка затрачається на подолання сил тертя в сальнику:

$$N_c = M_{mp} \cdot \omega = 36,063 \cdot 18,67 = 673,175 \text{ Вт}$$

Висновок: В ході проведеного аналізу було вибрано сальникове ущільнення для унеможливлення виходу рідкого середовища за межі апарату та проведено його перевірочний розрахунок.

#### 4.1.19 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість

Мета: визначити діаметру вала, який задовольняє умовам вібростійкості.

Розрахункова схема до визначення діаметра вала, що відповідає умові вібростійкості подана на рисунку 4.15.

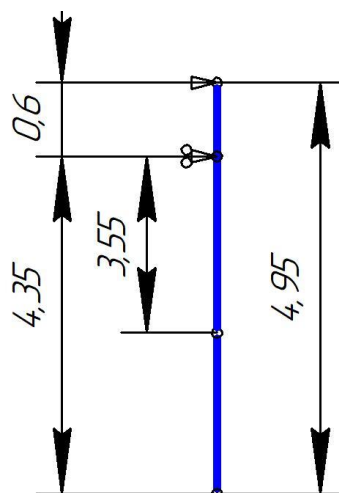


Рисунок 4.15 – Схема до розрахунку вала перемішуючого пристрою на вібростійкість

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		87

Вихідні дані:

довжина прольоту $L$ , м	0,6;
довжина консолі $L_1$ , м	4,35;
довжина валу $L_2$ , м	4,95;
кількість деталей на валу, окрім мішалок $n_d$	0;
кількість мішалок $n_m$	2;

координати центрів мас мішалок:

$l_1$ , м	3,55;
$l_2$ , м	4,35;

маси мішалок:

$m_1$ , кг	22;
$m_2$ , кг	22;

діаметр валу $d$ , м	0,13;
кутова швидкість $\omega$ , $s^{-1}$	18,67;
густина матеріалу вала $\rho$ , $kg/m^3$	7920;
частота обертання вала $n$ , $s^{-1}$	2,972;
коефіцієнт, що враховує умову вібростійкості $j$	0,7;
коефіцієнт приведення маси вала $q$	0,5;
модуль пружності матеріалу вала $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ .

Розрахунок наведено в літературі [13, стр. 30].

Відносні координати довжин консолі та прольоту:

$$\bar{L}_1 = \frac{L_1}{L_2} = \frac{4,35}{4,95} = 0,879$$

$$\bar{L} = \frac{L}{L_1} = \frac{0,6}{4,35} = 0,138$$

Відносні координати центрів ваги мішалок в прольоті:



$$\bar{l}_{11} = \frac{l_{11}}{L_1} = \frac{3,55}{4,35} = 0,879$$

$$\bar{l}_{12} = \frac{l_{12}}{L_1} = \frac{4,35}{4,35} = 1$$

Безрозмірний прогин вала:

$$\bar{y}_{l_1} = f(\bar{l}_{11}, \bar{L}) = f(0,879; 0,138) = 0,7$$

$$\bar{y}_{l_2} = f(\bar{l}_{12}, \bar{L}) = f(1; 0,138) = 1$$

Коефіцієнт, що враховує умову закріплення вала:

$$\eta = 3\bar{L}_1 = 3 \cdot 0,879 = 2,636$$

Безрозмірний коефіцієнт:

$$f = \frac{8 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot L_1^2}{j^2 \cdot \eta \cdot E} = \frac{8 \cdot 7920 \cdot 18,67^2 \cdot 4,35^2}{0,7^2 \cdot 2,636 \cdot 1,98 \cdot 10^{11}} = 2,115 \cdot 10^{-3}$$

Приведена маса мішалок в консолі:

$$m_{1_{\text{пр}}} = m_1 \cdot \bar{y}_{l_1}^2 = 22 \cdot 0,7^2 = 10,78 \text{ кг}$$

$$m_{2_{\text{пр}}} = m_2 \cdot \bar{y}_{l_2}^2 = 22 \cdot 1^2 = 22 \text{ кг}$$

Сума приведених мас мішалок:

$$m_{\text{пр}} = \sum_1^2 m_{i_{\text{пр}}} = m_{1_{\text{пр}}} + m_{2_{\text{пр}}} = 10,78 + 22 = 32,78 \text{ кг}$$

Маса 1 метра довжини вала:

$$m_L = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4} = \frac{\pi \cdot 0,13^2 \cdot 7920}{4} = 105,071 \text{ кг}$$

Відносна приведена маса деталей:

$$\bar{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{m_L \cdot L_1} = \frac{32,78}{105,071 \cdot 4,35} = 0,0717$$

Корінь частотного рівняння:

$$\alpha = f(\bar{m}_{\text{пр}}, \bar{L}) = f(0,0717; 0,138) = 1,8$$

Момент інерції перерізу вала:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,13^4}{64} = 1,401 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

Перша критична кутова швидкість:

$$\omega_{\text{кр1}} = \left( \frac{\alpha}{L_1} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}} = \left( \frac{1,8}{4,35} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{1,98 \cdot 10^{11} \cdot 1,401 \cdot 10^{-5}}{105,071}} = 27,824 \text{ с}^{-1}$$

Умова вібростійкості:

$$\frac{\omega}{\omega_{\text{кр1}}} = \frac{18,67}{27,824} = 0,67 \leq 0,7$$

Отже умова вібростійкості для даного валу виконується і вал працює у до критичній зоні.

Висновок: В ході проведених розрахунків було визначено, що діаметр вала в опірному перерізі, задовольняє умовам вібростійкості.

#### 4.2.20 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість

Мета: перевірка умови жорсткості вала механічного перемішуючого пристрою.

Розрахункова схема подана на рисунку 4.15.

довжина прольоту  $L$ , м 0,6;

довжина консолі  $L_1$ , м 4,35;

довжина валу  $L_2$ , м 4,95;

кількість деталей на валу, окрім мішалок  $n_d$  0;

кількість мішалок  $n_m$  2;

координати центрів мас мішалок:

$l_1$ , м 3,55;

$l_2$ , м 4,35;

маси мішалок:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$m_1$ , кг	22;
$m_2$ , кг	22;
діаметр валу $d$ , м	0,13;
приведені маси мішалок:	
$m_{1пр}$ , кг	10,78;
$m_{2пр}$ , кг	22;
сума приведених мас мішалок $m_{пр}$ , кг	32,78;
кутова швидкість $\omega$ , с <sup>-1</sup>	18,67;
густина матеріалу вала $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7920;
частота обертання вала $n$ , с <sup>-1</sup>	2,972;
модуль пружності матеріалу вала $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;
початкова увігнутість вала в точці приведення $\varepsilon_b$ , м	$0,6 \cdot 10^{-3}$ ;
допустиме зміщення вала:	

$$[A_{z_i}] = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$[A_{z_i}] = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Розрахунок наведено в літературі [14, стр 33].

Ексцентриситет маси деталі в прольоті та на консолях:

$$e_1 = e_{11} = e_{12} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{18,67}} = 2,31 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Відносні координати небезпечного перерізу в прольоті та на консолях:

$$\bar{z}_1 = \frac{z_1}{L} = \frac{0,25}{0,6} = 0,467$$

$$\bar{z}_{11} = \frac{z_2}{L_1} = \frac{3,55}{4,35} = 0,816$$

$$\bar{z}_{12} = \frac{z_2}{L_1} = \frac{4,35}{4,35} = 1$$

Безрозмірний динамічний прогин валу в небезпечному перерізі в прольоті та на консолі:

$$\bar{y}_{\bar{z}_1} = f(\bar{z}_1, \bar{L}) \cdot \bar{L} = 0,015 \cdot 0,138 = 0,00207$$

$$\bar{y}_{\bar{z}_{11}} = f(\bar{z}_{11}, \bar{L}) = f(0,816; 0,138) = 0,71$$

$$\bar{y}_{\bar{z}_{12}} = f(\bar{z}_{12}, \bar{L}) = f(1; 0,138) = 1$$

Відносні координати центрів ваги мішалок на консолі:

$$\bar{l}_{11} = \frac{l_{11}}{L_1} = \frac{3,55}{4,35} = 0,816$$

$$\bar{l}_{12} = \frac{l_{12}}{L_1} = \frac{4,35}{4,35} = 1$$

Безрозмірний динамічний прогин в центрі ваги мішалок:

$$\bar{y}_{l_{11}} = f(\bar{l}_{11}, \bar{L}) = f(0,816; 0,138) = 0,7$$

$$\bar{y}_{l_{12}} = f(\bar{l}_{12}, \bar{L}) = f(1; 0,138) = 1$$

Приведений ексцентриситет деталі:

$$e_{11_{\text{пр}}} = \frac{e_{11}}{\bar{y}_{l_{11}}} = \frac{0,231 \cdot 10^{-3}}{0,7} = 3,307 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$e_{12_{\text{пр}}} = \frac{e_{12}}{\bar{y}_{l_{12}}} = \frac{0,231 \cdot 10^{-3}}{1} = 2,315 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Маса 1 метра довжини вала:

$$m_L = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4} = \frac{\pi \cdot 0,13^2 \cdot 7920}{4} = 105,071 \text{ кг}$$

Приведена маса вала:

$$m'_{\text{в.пр}} = 0,5 \cdot m_L \cdot L = 0,5 \cdot 105,071 \cdot 0,6 = 31,521 \text{ кг}$$

$$m''_{\text{в.пр}} = 0,5 \cdot m_L \cdot L_1 = 0,5 \cdot 105,071 \cdot 4,35 = 228,529 \text{ кг}$$

Зміщення перерізу вала в точці приведення  $B$ , пов'язано з зазорами в опорах:

$$\Delta_B = \frac{(\Delta_a + \Delta_b)}{2} = \frac{(0,03 \cdot 10^{-3} + 0,037 \cdot 10^{-3})}{2} = 0,0335 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Піппис	Лат		92

Приведений (до точки  $B$ ) ексцентриситет мас деталей посаджених в прольоті та на консолях:

$$e'_{\text{пр}} = \frac{\sum(m_{i_{\text{пр}}} \cdot e_{i_{\text{пр}}})}{m_{\text{пр}} + m'_{B_{\text{пр}}}} + \Delta_B + \varepsilon_B = \frac{0}{32,78 + 31,521} + 0,0335 \cdot 10^{-3} + 0,6 \cdot 10^{-3} = 6,335 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$e''_{\text{пр}} = \frac{\sum(m_{ij_{\text{пр}}} \cdot e_{ij_{\text{пр}}})}{m_{\text{пр}} + m'_{B_{\text{пр}}}} + \Delta_B + \varepsilon_B = \frac{10,78 \cdot 2,436 \cdot 10^{-4} + 22 \cdot 4,061 \cdot 10^{-4}}{32,78 + 228,529} + 0,0335 \cdot 10^{-3} + 0,6 \cdot 10^{-3} = 6,666 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Сумарний приведений (до точки  $B$ ) ексцентриситет мас деталей посаджених в прольоті та на консолях:

$$e_{\text{пр}} = e'_{\text{пр}} + e''_{\text{пр}} + \Delta_B + \varepsilon_B = 6,335 \cdot 10^{-4} + 6,666 \cdot 10^{-4} + 0,0335 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 19,731 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Момент інерції перерізу вала:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,13^4}{64} = 1,401 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

Відносна приведена маса деталей:

$$\bar{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{(m_L \cdot L_1)} = \frac{32,78}{(105,071 \cdot 4,35)} = 0,072$$

Корінь частотного рівняння:

$$\alpha_1 = f(\bar{m}_{\text{пр}}, \bar{L}) = f(0,072; 0,138) = 1,9$$

Перша критична кутова швидкість:

$$\omega_{\text{кр1}} = \left( \frac{\alpha_1}{L_1} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}} = \left( \frac{1,9}{4,35} \right) \cdot \sqrt{\frac{1,98 \cdot 10^{11} \cdot 1,401 \cdot 10^{-5}}{105,071}} = 27,824 \text{ с}^{-1}$$

Динамічний прогин вала в точці приведення:

$$y_B = \frac{e_{\text{пр}}}{\left( \frac{\omega_{\text{кр}}}{\omega} \right)^2 - 1} = \frac{19,731 \cdot 10^{-4}}{\left( \frac{27,824}{18,67} \right)^2 - 1} = 10,998 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення мішалки, викликане зазорами в опорах на консолях:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		93

$$\Delta_{l_{11}} = (\Delta_B + \Delta_A) \cdot (\bar{l}_{11} + L) - \Delta_A = (0,037 \cdot 10^{-3} - 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,816 + 0,6) - 0,03 \cdot 10^{-3} = 6,488 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$\Delta_{l_{12}} = (\Delta_B + \Delta_A) \cdot (\bar{l}_{12} + L) - \Delta_A = (0,037 \cdot 10^{-3} - 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + 0,6) - 0,03 \cdot 10^{-3} = 7,72 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Зміщення небезпечного перерізу вала, викликане зазорами в опорах в прольоті та на консолях:

$$\Delta_{z_1} = (\Delta_B + \Delta_A) \cdot \bar{z}_1 - \Delta_A = (0,037 \cdot 10^{-3} - 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,416 - 0,03 \cdot 10^{-3} = -2,083 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\Delta_{z_{11}} = (\Delta_B + \Delta_A) \cdot (\bar{z}_{11} + L) - \Delta_A = (0,037 \cdot 10^{-3} - 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,816 + 0,6) - 0,03 \cdot 10^{-3} = 6,488 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$\Delta_{z_{12}} = (\Delta_B + \Delta_A) \cdot (\bar{z}_{12} + L) - \Delta_A = (0,037 \cdot 10^{-3} - 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + 0,6) - 0,03 \cdot 10^{-3} = 7,72 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення мішалки, викликане початковою увігнутістю вала на консолях:

$$\varepsilon_{l_{11}} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{l_{11}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\varepsilon_{l_{12}} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{l_{12}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Зміщення небезпечного за жорсткістю перерізу вала, викликане початковою увігнутістю в прольоті та на консолях:

$$\varepsilon_{z_1} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{z_1} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00207 = 0,0124 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\varepsilon_{z_{11}} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{z_{11}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\varepsilon_{z_{12}} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{z_{12}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Сумарне динамічне зміщення в точці приведення:

$$A_B = y_B + \varepsilon_B + \Delta_B = 10,998 \cdot 10^{-4} + 0,6 \cdot 10^{-3} + 0,0335 \cdot 10^{-3} = 17,333 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Сумарне динамічне зміщення вала в центрі мас мішалки на консолях:

$$A_{l_{11}} = y_B \cdot \bar{y}_{l_{11}} + \varepsilon_{l_{11}} + \Delta_{l_{11}} + e_{11} = 10,998 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 + 4,2 \cdot 10^{-4} + 6,488 \cdot 10^{-5} + 0,231 \cdot 10^{-3} = 0,0014 \text{ м}$$

$$A_{l_{12}} = y_B \cdot \bar{y}_{l_{12}} + \varepsilon_{l_{12}} + \Delta_{l_{12}} + e_{12} = 10,998 \cdot 10^{-4} \cdot 1 + 6 \cdot 10^{-4} + 7,72 \cdot 10^{-5} + 0,231 \cdot 10^{-3} = 0,002 \text{ м}$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		94

Сумарне динамічне зміщення вала в небезпечному перерізі в прольоті та на консолі:

$$A_{z_1} = y_B \cdot \bar{y}_{z_1} + \varepsilon_{z_1} + \Delta z_1 = 10,998 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00201 + 0,0124 \cdot 10^{-4} - 2,843 \cdot 10^{-5} = 5,497 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$A_{z_{11}} = y_B \cdot \bar{y}_{z_{11}} + \varepsilon_{z_{11}} + \Delta z_{11} = 10,998 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 + 4,2 \cdot 10^{-4} + 6,488 \cdot 10^{-5} = 0,00126 \text{ м}$$

$$A_{z_{12}} = y_B \cdot \bar{y}_{z_{12}} + \varepsilon_{z_{12}} + \Delta z_{12} = 10,998 \cdot 10^{-4} \cdot 1 + 6 \cdot 10^{-4} + 7,72 \cdot 10^{-5} = 0,00178 \text{ м}$$

Умови жорсткості, м:

$$\begin{array}{ll} A_{l_1} \leq [A_{l_1}] & A_{z_1} \leq [A_{z_1}] \\ 0,0014 \leq 1 \cdot 10^{-2} & 5,497 \cdot 10^{-4} \leq 2,5 \cdot 10^{-3} \\ A_{l_2} \leq [A_{l_2}] & A_{z_{11}} \leq [A_{z_{11}}] \\ 0,002 \leq 1 \cdot 10^{-2} & 0,00126 \leq 2,5 \cdot 10^{-3} \\ & A_{z_{12}} \leq [A_{z_{12}}] \\ & 0,00178 \leq 2,5 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

Отже умови жорсткості виконуються.

Висновок: В ході розрахунків визначено, що умови жорсткості даного валу виконується. Отже вал діаметром 130 мм забезпечує умову жорсткості.

#### 4.2.21 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на міцність

Мета: визначити найбільш небезпечний по міцності переріз вала, визначити еквівалентні напруження в небезпечних перерізах, розрахувати допустимі напруження з урахуванням дії знакозмінних напружень, часткових значень коефіцієнтів запасу міцності, коефіцієнтів концентрації напружень. Порівняти значення еквівалентних напружень в небезпечних перерізах з допустимими.

Розрахункова схема подана на рисунку 4.15.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		95

Вихідні дані:

довжина прольоту $L$ , м	0,6;
довжина консолі $L_1$ , м	4,35;
довжина валу $L_2$ , м	4,95;
кількість деталей на валу, окрім мішалок $n_d$	0;
кількість мішалок $n_m$	2;
координати центрів мас мішалок:	
$l_1$ , м	3,55;
$l_2$ , м	4,35;
маси мішалок:	
$m_1$ , кг	22;
$m_2$ , кг	22;
діаметр валу $d$ , м	0,05;
приведені маси мішалок:	
$m_{1пр}$ , кг	19,855;
$m_{2пр}$ , кг	7,148;
сума приведених мас мішалок $m_{пр}$ , кг	27,003;
кутова швидкість $\omega$ , $c^{-1}$	18,67;
густина матеріалу вала $\rho$ , $кг/м^3$	7920;
частота обертання вала $n$ , $c^{-1}$	2,972;
модуль пружності матеріалу вала $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;
потужність, що витрачається мішалками на перемішування $N$ , Вт	2013;
межа витривалості матеріалу $\sigma_{-1}$ , МПа	279;
шпоночні канавки під ступицями мішалки виконані торцевими фрезами, тому $K_{\sigma zk}$	
	1,46;
мінімальний запас міцності $n_{min}$	1,5;
сумарне динамічне зміщення перерізу вала в точці приведення $A_{BQ}$ , м	$17,333 \cdot 10^{-4}$ ;



в центрі мас мішалок

$$A_{111}, \text{ м} \quad 0,0014;$$

$$A_{112}, \text{ м} \quad 0,002.$$

Розрахунок наведено в літературі [15, стр 20].

Зосереджена сила, також і відцентрова, що діє на мішалку:

$$F_{11} = m_1 \cdot \omega^2 \cdot A_{111} = 22 \cdot 18,67^2 \cdot 0,0014 = 11,393 \text{ Н}$$

$$F_{12} = m_2 \cdot \omega^2 \cdot A_{112} = 22 \cdot 18,67^2 \cdot 0,002 = 15,396 \text{ Н}$$

Приведена відцентрова сила вала:

$$F_{BQ} = m_{B_{np}} \cdot \omega^2 \cdot A_{BQ} = 260,049 \cdot 18,67^2 \cdot 17,333 \cdot 10^{-4} = 157,056 \text{ Н}$$

Реакція опори А буде визначатись за наступною формулою:

$$R_A = \frac{F_{11} \cdot l_{11} + F_{12} \cdot l_{12} + F_{BQ} \cdot L_1}{L} = \frac{11,393 \cdot 3,55 + 15,396 \cdot 4,35 + 157,056 \cdot 4,35}{0,6} = 1318 \text{ Н}$$

Реакція опори Б:

$$R_B = \frac{F_{11} \cdot (L + l_{11}) + F_{12} \cdot (L + l_{12}) + F_{BQ} \cdot (L + L_1)}{L} =$$
$$= \frac{11,393 \cdot (0,6 + 3,55) + 15,396 \cdot (0,6 + 4,35) + 157,056 \cdot (0,6 + 4,35)}{0,6} = 1502 \text{ Н}$$

Вигинаючий момент в небезпечних за міцністю перерізах прольоту:

$$M_{z_1} = R_A \cdot z_2 - (F_{11} \cdot (z_2 - l_{11}) + F_{12} \cdot (z_2 - l_{12})) = 1318 \cdot 4,35 -$$
$$- (11,393 \cdot (4,35 - 3,55) + 15,396 \cdot (4,35 - 4,35)) = 5723 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вигинаючий момент в небезпечних за міцністю перерізах консолі:

$$M_{z_2} = F_{BQ} \cdot (L_1 - z_{11}) + F_{11} \cdot (l_{11} - z_{11}) + F_{12} \cdot (l_{12} - z_{11}) = 157,056 \cdot (4,35 - 0) +$$
$$+ 11,393 \cdot (3,55 - 0) + 15,396 \cdot (4,35 - 0) = 790,608 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент в небезпечних за міцністю перерізах:

$$M_{\text{кр}z_1} = \frac{N_1 + N_2}{\omega} = \frac{2013 + 2013}{18,67} = 215,655 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{кр}z_2} = \frac{N_1}{\omega} = \frac{2013}{18,67} = 107,828 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		97

Моменти опору в небезпечних перерізах:

$$W_{z_1} = W_{z_2} = \frac{\pi \cdot 0,13^3}{32} = 21,558 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження в небезпечних перерізах:

$$\sigma_{z_1}^{\text{III}} = \frac{\sqrt{M_{z_1}^2 + M_{\text{кр}z_1}^2}}{W_{z_1}} = \frac{\sqrt{5723^2 + 215,655}}{21,558 \cdot 10^{-5}} = 26,565 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{z_2}^{\text{III}} = \frac{\sqrt{M_{z_2}^2 + M_{\text{кр}z_2}^2}}{W_{z_2}} = \frac{\sqrt{790,608^2 + 107,828}}{21,558 \cdot 10^{-5}} = 3,701 \text{ МПа}$$

Масштабний фактор:

$$\varepsilon_m = f(0,13) = 0,6$$

Допустиме напруження на міцність в небезпечному перерізі:

$$[\sigma_{z_1}] = [\sigma_{z_2}] = \frac{\varepsilon_m \cdot \sigma^{-1}}{K_{\sigma zk} \cdot n_{\min}} = \frac{0,6 \cdot 279}{1,46 \cdot 1,5} = 76,438 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{z_1}^{\text{III}} \leq [\sigma_{z_1}]; 26,565 \leq 76,438 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{z_2}^{\text{III}} \leq [\sigma_{z_2}]; 3,701 \leq 76,438 \text{ МПа}$$

Отже умова міцності виконується.

Висновок: Отже умова міцності для перемішуючого пристрою виконується, тобто еквівалентні напруження в небезпечних перерізах вала набагато менші ніж допустимі і вал діаметром 130 мм забезпечує умову міцності.

## 4.2 Розрахунок випарного апарату

Мета: визначення основних конструктивних та енергетичних показників випарного апарату, призначеного для отримання глютамінової кислоти.

### 4.2.1 Розрахунок матеріального балансу випарного апарату

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		98

Мета розрахунку: визначення необхідної продуктивності апарату по випареному розчину та випареній воді.

Вихідні дані:

кількість розчину, який поступає на

випарювання  $G_n$ , кг/с 0,262;

початкова концентрація  $x_n$ , % 7;

кінцева концентрація  $x_k$ , % 28.

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [17, стр. 362].

Матеріальний баланс по загальній кількості продуктів подають в наступному вигляді:

$$G_n = G_k + W$$

$$G_n x_n = G_k x_k$$

З наведених вище рівнянь визначаємо продуктивність апарату:

– по випареному розчину

$$G_k = \frac{G_n \cdot x_n}{x_k} = \frac{0,262 \cdot 7}{28} = 0,0656 \text{ кг/с};$$

– по випареній воді

$$W = G_n \left(1 - \frac{x_n}{x_k}\right) = 0,262 \left(1 - \frac{7}{28}\right) = 0,197 \text{ кг/с};$$

де  $x_n, x_k$  – відповідно концентрації початкова і кінцева, %.

Висновки: Було розраховано продуктивність по випареному розчину 0,262 кг/с; по випареній воді 0,197 кг/с.

#### 4.2.2 Розрахунок теплового балансу

Мета розрахунку: визначення теплового навантаження та витрати пари.

Вихідні дані:

кількість розчину, який поступає на випарювання  $G_n$ , кг/с 0,262;

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		99

температура вторинних парів $t_{en}$ , °C	59;
початкова теплоємність розчину $c_n$ , Дж/(кг·град)	4178,5;
початкова температура розчину $t_1$ , °C	30;

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [18, стр. 122] .

Температура кипіння розчину:

$$t_{кип} = t_{en} + \Delta = 59 - 1 = 60 \text{ } ^\circ\text{C};$$

де  $t_{en}$  – температура вторинної пари, °C;  $\Delta$  – повна дисперсія.

Повна дисперсія визначається за формулою:

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 0 + 0 + 1 = 1;$$

де  $\Delta'$  – температурна депресія, дорівнює 0 °C;  $\Delta''$  – гідростатична депресія, при розрахунку температури кипіння в плівкових випарних апаратах гідростатичну депресію не враховують, тобто вона дорівнює 0 °C;  $\Delta'''$  – гідравлічна депресія, обумовлена втратою тиску на подолання гідравлічних опорів трубопроводів при переході із корпусу в корпус, звичайно у розрахунках приймають  $\Delta''' = 1,0 \div 1,5$  °C, приймаємо  $\Delta''' = 1$  °C.

Теплове навантаження

$$Q = G_{en} r_{en} = 1,03(G_n c_n (t_{кип} - t_1) + W(i_{en} - c_6 t_{кип})) = 1,03(0,262 \cdot 4178,5 \cdot (60 - 30) + 0,197(2609,5 \cdot 10^3 - 4182 \cdot 60)) = 511751 \text{ Вт.}$$

де 1,03 – коефіцієнт, який враховує втрати в навколишнє середовище;  $i_{en}$  – питома ентальпія вторинної пари дорівнює  $2609,5 \cdot 10^3$  Дж/кг;  $c_6$  – теплоємність води при температурі кипіння розчину дорівнює 4182 Дж/(кг·град).

Витрати пару:

$$G_{en} = \frac{Q}{r_{en}} = \frac{511751}{2,26 \cdot 10^6} = 0,227 \text{ кг/с};$$

де  $r_{en}$  – питома теплота утворення пари, дорівнює  $2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_{кор} = t_{en} - t_{кип} = 100 - 60 = 40 \text{ } ^\circ\text{C};$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

де  $t_{zn}$  – температура гріючої пари, яка дорівнює 100 °С.

Висновки: В розрахунку визначено теплове навантаження, яке дорівнює 511751 Вт та витрати пару 0,227 кг/с. Також розраховано корисну різницю температур, яка дорівнює 40 °С.

#### 4.2.3 Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі

Мета розрахунку: розрахувати коефіцієнти теплопередачі для визначення поверхні теплообміну з основного рівняння теплопередачі.

Схема передачі тепла від одного теплоносія іншому через стінку апарата подана на рисунку 4.16.

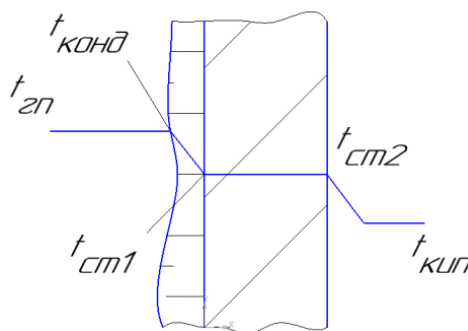


Рисунок 4.16 – Схема теплопередачі через стінку апарата

Вихідні дані :

витрата рідини $Q$ , Вт	511751;
кількість розчину, який поступає на випарювання $G_n$ , кг/с	0,262;
продуктивність по випареній воді $W$ , кг/с	0,197;
початкова концентрація розчину $x_n$ , %	7;
кінцева концентрація $x_k$ , %	28;
початкова температура суміші $t_{noc}$ , °С	30;
температура граючої пари $t_{zn}$ , °С	100;

температура кипіння розчину  $t_{\text{кип}}$ , °C

60.

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [24, стр. 267].

Критерій Рейнольдса для плівки рідини конденсату:

$$\text{Re}_{\text{конд}} = \frac{4\bar{\alpha}\Delta t l}{r_n \mu_p}$$

Теплофізичні властивості плівки конденсату визначаємо при температурі пари яка дорівнює 100 °C:

$$\rho_p = 958,4 \text{ кг/м}^3;$$

$$\mu_p = 0,000283 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\lambda_p = 0,683 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

$$\nu_p = 0,295 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\rho_n = 0,598 \text{ кг/м}^3;$$

$$r_n = 2256,8 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг};$$

Температура плівки конденсату:

$$t_{\text{конд}} = t_{\text{зн}} - 0,5 \cdot \frac{k}{\alpha_1} (t_{\text{зн}} - t_{\text{кип}}) = 100 - 0,5 \cdot 0,25(100 - 60) = 95 \text{ °C};$$

де  $\frac{k}{\alpha_1}$  приймаємо рівним 0,25.

Температура стінки:

$$t_{\text{ст}} = 2t_{\text{конд}} - t_{\text{зн}} = 2 \cdot 95 - 100 = 90 \text{ °C}.$$

Частковий температурний напір:

$$\Delta t = t_{\text{зн}} - t_{\text{ст}} = 100 - 90 = 10 \text{ °C}.$$

Приймаємо довжину труб рівною 4 м.

Визначаємо  $\Delta t l$ , пропорційне числу Рейнольдса:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		102

$$\Delta t l = 10 \cdot 4 = 40 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Визначаємо критичне значення  $(\Delta t l)_{кр}$ , яке відповідає  $Re_{кр} = 1600$ :

$$\begin{aligned} (\Delta t l)_{кр} &= 2300 \cdot \frac{r_n \mu_p}{\lambda_p} \left( \frac{v_p^2}{g} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_p - \rho_n} \right)^{1/3} = \\ &= 2300 \cdot \frac{2256,8 \cdot 10^3 \cdot 0,000283}{0,683} \left( \frac{(0,295 \cdot 10^{-6})^2}{9,81} \cdot \frac{958,4}{958,4 - 0,598} \right)^{1/3} = 44,53 \text{ м} \cdot \text{К}. \end{aligned}$$

$\Delta t l < (\Delta t l)_{кр}$ , а це підтверджує, що режим ламінарно хвильвий.

По формулі  $\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_{лам} \varepsilon_v \varepsilon_t$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) розраховуємо  $\bar{\alpha}$ . Для цього визначаємо Вт/(м<sup>2</sup> · °С):

$$\bar{\alpha}_{лам} = 0,943 \frac{A}{\sqrt[4]{\Delta t l}} = 0,943 \frac{12302}{\sqrt[4]{40}} = 4613;$$

$$\text{де } A = \sqrt[4]{\frac{\lambda_p^3 \cdot r_n \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_n)}{v_p}} = \sqrt[4]{\frac{0,683^3 \cdot 2256,8 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot (958,4 - 0,598)}{0,295 \cdot 10^{-6}}} = 12302.$$

Поправка, яка враховує зміну параметрів від температури:

$$\varepsilon_t = \left[ \left( \frac{\lambda_{cm}}{\lambda_p} \right)^3 \cdot \frac{\mu_p}{\mu_{cm}} \right]^{1/8} = \left[ \left( \frac{0,68}{0,683} \right)^3 \cdot \frac{0,000283}{0,0003149} \right]^{1/8} = 0,985;$$

де  $\lambda_{cm} = 0,68$  Вт/(м · °С);  $\mu_{cm} = 0,0003149$  Па · с приймаються при температурі  $t_{cm}$ .

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{конд} = \frac{4 \bar{\alpha} \Delta t l \varepsilon_t}{r_n \mu_p} = \frac{4 \cdot 4613 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 0,985}{2256,8 \cdot 10^3 \cdot 0,000283} = 1139.$$

Поправка на хвильвий режим:

$$\varepsilon_v = 0,95 \cdot Re_{конд}^{0,04} = 0,95 \cdot 1139^{0,04} = 1,259.$$

Остаточно коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha_1 = \bar{\alpha}_{лам} \varepsilon_v \varepsilon_t = 5486 \cdot 1,259 \cdot 0,985 = 5720 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Теплофізичні властивості речовини визначаємо при температурі кипіння дорівнює 60 °С:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		103

$$\nu_{роз} = 0,478 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda_{роз} = 0,659 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$\mu_{роз} = 0,000469 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Щільність зрошення апарату [18, стр. 126]:

$$\Gamma = \frac{G_n}{\pi d_{\text{вн}} n} = \frac{0,262}{3,14 \cdot 0,034 \cdot 24} = 0,102 \text{ кг}/(\text{мс});$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр труб,  $d_{\text{вн}} = 0,034 \text{ м}$ ;  $n$  – кількість труб, приймається рівним 24.

Критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{4\Gamma}{\mu_{роз}} = \frac{4 \cdot 0,102}{0,000469} = 871,383.$$

Товщина плівки:

$$\delta = \left( 0,75 \frac{\nu_{роз}^2}{g} \right)^{0,33} \text{Re}^{0,33} = \left( 0,75 \frac{(0,478 \cdot 10^{-6})^2}{9,81} \right)^{0,33} 871,383^{0,33} = 0,000269 \text{ м}.$$

Розраховуємо тепловіддачі до плівки рідини:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= c \frac{\lambda_{роз}}{\delta} (0,25 \text{Re})^n \left( \frac{q\delta}{\lambda_{роз} t_{\text{вн}}} \right)^m = \\ &= 2,6 \frac{0,659}{0,000269} (0,25 \cdot 871,383)^{0,203} \left( \frac{q \cdot 0,000269}{0,659 \cdot 60} \right)^{0,302} = 413q^{0,302} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}); \end{aligned}$$

де  $q$  – питоме теплове навантаження,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ . Приймаємо, що теплове навантаження більше 20000, тоді коефіцієнти та показники степені дорівнюють  $c=2,6$ ;  $n=0,203$ ;  $m=0,302$ .

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі:

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{r_3}} = \frac{1}{\frac{1}{5720} + \frac{0,002}{15} + \frac{1}{417q^{0,302}} + \frac{1}{3000}} = \\ &= \frac{1}{0,000626 + \frac{1}{417q^{0,302}}} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

де  $1/r_3=1/3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  – теплова провідність забруднень зі сторони розчину.

Питоме теплове навантаження:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		104



$$q = \Delta t_{\text{кор}} K = \frac{\Delta t_{\text{кор}}}{0,000626 + \frac{1}{417 q^{0,302}}} \text{ Вт/м}^2;$$

звідси

$$\Delta t_{\text{кор}} = 0,000626 q + 0,00239 q^{0,698} \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Розраховуємо питоме теплове навантаження методом послідовних наближень: задаємо різні значення  $q$ , проводимо розрахунок корисної різниці температур та будуємо графік рисунок 4.17.

$q, \text{ Вт/м}^2$	25000	65000
$\Delta t_{\text{кор}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	20	45

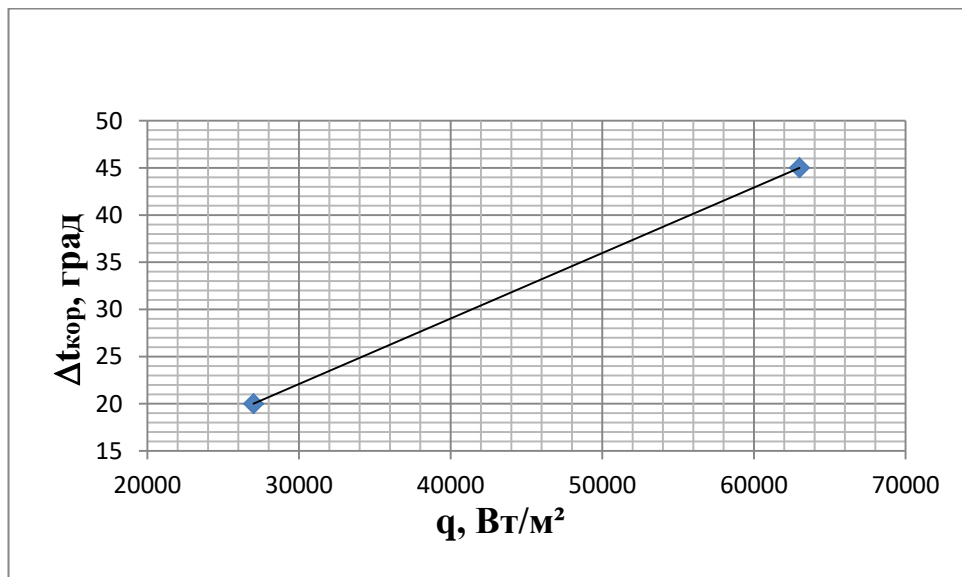


Рисунок 4.17 – Визначення теплової завантаженості апарату

З графіка бачимо, що для попередньо визначеної  $\Delta t_{\text{кор}} = 40^{\circ}\text{C}$  питоме теплове навантаження  $q = 56000 \text{ Вт/м}^2$ .

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{кор}}} = \frac{56000}{40} = 1400 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}.$$

Поверхня теплообміну:

$$F = \frac{Q_{\text{вин}}}{K \Delta t_{\text{кор}}} = \frac{511751}{1400 \cdot 40} = 9,14 \text{ м}^2.$$

Приймаємо площу рівною  $10 \text{ м}^2$ .

Висновки: Для випарювання розчину глютамінової кислоти продуктивністю  $G_n = 0,262 \text{ кг/с}$  з початковою концентрацією  $x_n = 7 \%$  до кінцевої концентрації  $x_k = 28 \%$  необхідно один випарний апарат з стандартною площею  $F = 10 \text{ м}^2$  [25].

#### 4.2.4 Конструктивний розрахунок випарного апарату

Мета розрахунку: визначення конструктивних параметрів плівкового випарника та сепаратора.

Вихідні дані:

поверхня теплообміну $F$ , $\text{м}^2$	10;
довжина труб $L$ , м	4;
діаметр труб $d$ , м	0,034;
коефіцієнт використання трубних ґрат $\psi$	0,8;
крок між трубами $t$ , м	0,048.

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [18, стр. 128] .

Кількість труб гріючої камери  $n$  розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{F}{\pi d L} = \frac{10}{3,14 \cdot 0,034 \cdot 4} = 30 .$$

Внутрішній діаметр обичайки гріючої камери  $D_k$  при розміщенні труб по вершинах рівносторонніх трикутників (найбільш компактний варіант) визначаємо:

$$D_k = \sqrt{1,27 \sin(\alpha) t^2 n / \psi} = \sqrt{1,27 \cdot 0,866 \cdot 0,048^2 \cdot 30 / 0,8} = 0,318 \text{ м};$$

де  $t$  - крок між трубами, м:

$$t = 1,25 \cdot d_{\text{зовн}} = 1,25 \cdot 0,038 = 0,048 \text{ м}.$$

$\psi = 0,7 \div 0,9$  - коефіцієнт використання трубних ґрат;  $\alpha = 60^\circ$  – кут між трубами.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піллис	Лат		106

Приймаємо  $D_k = 400 \text{ мм}$  [25].

Обсяг парового простору (сепаратора) випарного апарата  $V_c$ :

$$V_c = \frac{W}{W'};$$

де  $W'$  - допустима напруга парового простору,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

Значення  $W'$  приблизно визначається:

$$W' = f_1 f_2 W_{атм} = 0,85 \cdot 1 \cdot 1000 = 850 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год});$$

де  $W_{атм}$  - значення напруги парового простору, що допускається, при  $P=0,1$  МПа, приймаємо  $1000 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;  $f_1$  - залежить від тиску, приймаємо  $0,85$ ;  $f_2$  - залежить від рівня  $H$  розчину над крапкою введення парорідинної суміші в паровий простір, приймаємо  $1$ .

Обсяг сепаратора  $V_c$  знайдемо за формулою:

$$V_c = \frac{W}{W'} = \frac{0,196 \cdot 3600}{850} = 0,833 \text{ м}^3.$$

Приймаємо  $D_c = 0,6 \text{ м}$  і визначаємо швидкість пари в сепараторі:

$$w_n = \frac{W}{\rho_n D_c^2 \cdot 0,785} = \frac{0,196}{0,1302 \cdot 0,6^2 \cdot 0,785} = 5,346 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса знаходимо:

$$\text{Re} = \frac{w_n d_k \rho_n}{\mu_n} = \frac{5,346 \cdot 0,0006 \cdot 0,1302}{10,921 \cdot 10^{-6}} = 38,243,$$

де  $d_k$  - діаметр краплі, м;  $\rho_n$  - щільність пари,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\mu_n$  - в'язкість пари,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

Для  $\text{Re} < 500$  коефіцієнт опору розраховується за формулою:

$$\xi = \frac{18,5}{\text{Re}^{0,6}} = \frac{18,5}{38,243^{0,6}} = 2,078.$$

Швидкість витання краплі:

$$w_{вит} = \sqrt{\frac{4g(\rho_{роз} - \rho_n)d_k}{3\xi\rho_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81(988 - 0,1302)0,0006}{3 \cdot 2,078 \cdot 0,1302}} = 5,353 \text{ м/с},$$

де  $\rho_{роз}, \rho_n$  - відповідно густини рідини і пари.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		107

Визначаємо висоту парового простору:

$$H_c = \frac{4V_c}{\pi D_c^2} = \frac{4 \cdot 0,833}{3,14 \cdot 0,6^2} = 2,95 \text{ м.}$$

Приймаємо  $D=1,9$  м.

Висновок: визначено конструктивні параметри випарного апарату.

#### 4.2.5 Розрахунок еліптичного днища випарного апарату під дією зовнішнього тиску

Мета розрахунку: розрахувати еліптичне днище випарного апарату під дією зовнішнього тиску у без моментний період.

Схема еліптичного днища під дією зовнішнього тиску зображена на рисунку 4.18.

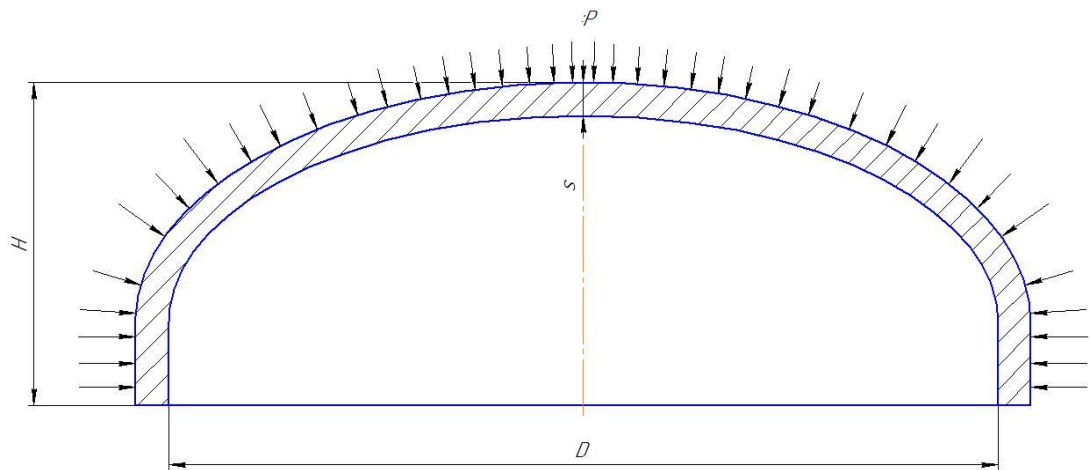


Рисунок 4.18 - Розрахункова схема еліптичного днища

Вихідні дані:

діаметр апарата  $D$ , м 0,4;

зовнішній тиск  $p_R$ , МПа 0,1;

модуль пружності матеріалу обичайки  $E$ , МПа  $1,98 \cdot 10^5$ ;

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [9].

Радіус кривизни у вершині днища  $R = D$  при  $H = 0,25D$ .

Товщину стінки днища приблизно знайдемо за формулами:

$$s_R = \max \left[ \frac{K_3 R}{510} \sqrt{\frac{n_u P_R}{10^{-6} E}}; \frac{P_R R}{2[\sigma]} \right];$$
$$s_D \geq s_R + c.$$

Для попереднього розрахунку приймемо  $K_3=0,9$  для еліптичного днища:

$$s_R = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 0,400}{510} \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,1}{10^{-6} \cdot 1,89 \cdot 10^5}}; \frac{0,1 \cdot 0,400}{2 \cdot 168} \right\};$$
$$s_R = \max \{0,00077; 0,00019\};$$
$$s_D = 0,0007 + 0,0013 = 0,00208 \text{ м}$$

Приймаємо  $s_D = 6 \text{ мм}$ .

По формулі допустимий тиск із умови на міцність:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma](s_D - c)}{R + 0,5(s_D - c)} = \frac{2 \cdot 168 \cdot (0,006 - 0,0013)}{0,4 + (0,006 - 0,0013)} = 3,902 \text{ МПа}$$

А допустимий тиск із умови стійкості у межах міцності:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_u} \left[ \frac{100(s - c)}{K_3 R} \right]^2 = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,89 \cdot 10^5}{2,4} \left[ \frac{100(0,006 - 0,0013)}{0,9 \cdot 0,4} \right]^2 = 3,656 \text{ МПа}$$

;

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_M}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{3,902}{\sqrt{1 + \left( \frac{3,902}{3,656} \right)^2}} = 2,668 \text{ МПа}$$

$$P \leq [P]; \quad 0,1 \leq 2,668 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Висновки: проведено розрахунок еліптичного днища випарного апарату.

Визначено товщину стінки  $s = 6 \text{ мм}$ .

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

#### 4.2.6 Розрахунок еліптичного днища сепаратора випарного апарату під дією зовнішнього тиску

Мета розрахунку: розрахувати еліптичне днище сепаратора випарного апарату під дією зовнішнього тиску у без моментний період.

Схема еліптичного днища під дією зовнішнього тиску зображена на рисунку 4.19.

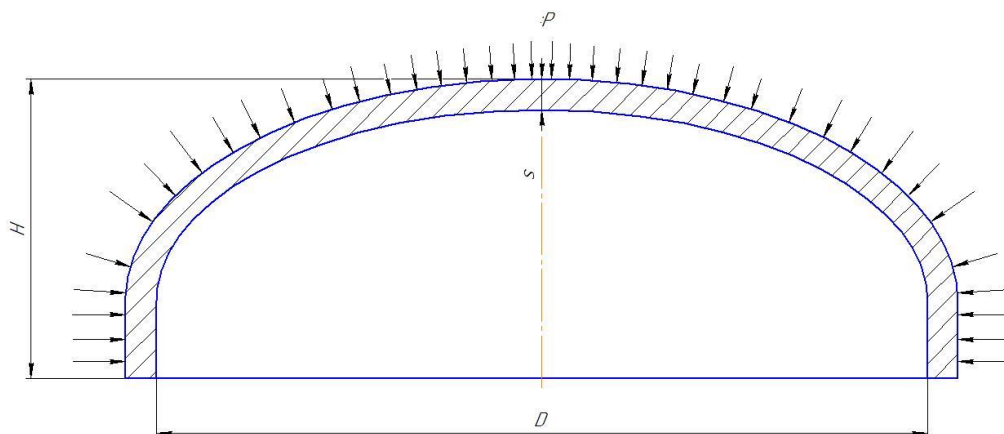


Рисунок 4.19 - Розрахункова схема еліптичного днища

Вихідні дані:

діаметр апарата $D$ , м	0,6;
зовнішній тиск $p_R$ , МПа	0,1;
модуль пружності матеріалу обичайки $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [9].

Радіус кривизни у вершині днища  $R = D$  при  $H = 0,25D$ .

Товщину стінки днища приблизно знайдемо за формулами:

$$s_R = \max \left[ \frac{K_9 R}{510} \sqrt{\frac{n_u P_R}{10^{-6} E}}; \frac{P_R R}{2[\sigma]} \right];$$

$$s_D \geq s_R + c.$$

Для попереднього розрахунку приймемо  $K_3=0,9$  для еліптичного днища:

$$s_R = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 0,6}{510} \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,1}{10^{-6} \cdot 1,89 \cdot 10^5}}; \frac{0,1 \cdot 0,6}{2 \cdot 168} \right\};$$

$$s_R = \max \{0,00117; 0,000179\};$$

$$s_D = 0,00117 + 0,0013 = 0,00247 \text{ м}$$

Приймаємо  $s_D = 6 \text{ мм}$ .

По формулі допустимий тиск із умови на міцність:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma](s_D - c)}{R + 0,5(s_D - c)} = \frac{2 \cdot 168 \cdot (0,006 - 0,0013)}{0,6 + (0,006 - 0,0013)} = 2,611 \text{ МПа}$$

А допустимий тиск із умови стійкості у межах міцності:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_u} \left[ \frac{100(s - c)}{K_3 R} \right]^2 = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,89 \cdot 10^5}{2,4} \left[ \frac{100(0,006 - 0,0013)}{0,9 \cdot 0,6} \right]^2 = 1,379 \text{ МПа};$$

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_M}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{2,611}{\sqrt{1 + \left( \frac{2,611}{1,379} \right)^2}} = 1,379 \text{ МПа}$$

$$P \leq [P]; \quad 0,1 \leq 1,379 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Висновки: проведено розрахунок еліптичного днища сепаратора випарного апарату. Визначено товщину стінки  $s = 6 \text{ мм}$ .

#### 4.2.7 Розрахунок циліндричної обичайки оболонки гріючої камери випарного апарату апарата на дію внутрішнього тиску

Метою розрахунку є знайти мінімальну розрахункову товщину стінки гріючої камери випарного апарату яка задовольняє умові міцності при дії лише внутрішнього тиску та порівняти її з наявною товщиною стінки.

Схема циліндричної обичайки під дією внутрішнього тиску зображена на рисунку 4.20.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

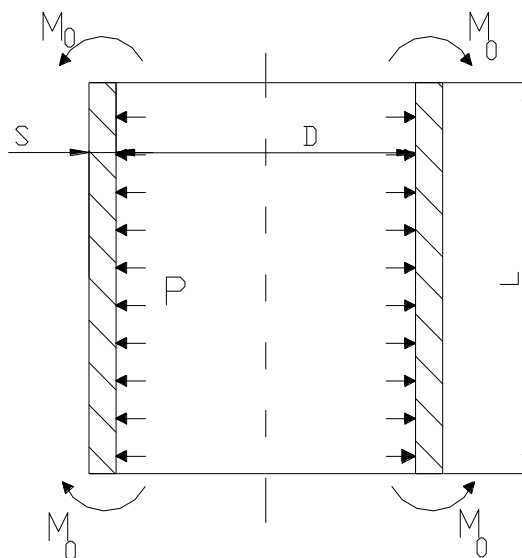


Рисунок 4.20 - Розрахункова схема апарата навантаженого внутрішнім тиском

Вихідні дані

розрахунковий тиск $P$ , МПа	0,1013;
межа плинності матеріалу обичайки $[\sigma]$ , МПа	168;
внутрішній діаметр обичайки $D$ , м	0,4;
коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi_p$	0,9;
коефіцієнт запасу міцності $n_t$	1,5.

Розрахунок циліндричної обичайки оболонки апарата на дію внутрішнього тиску ведемо за безмоментною теорією наведеною в літературі [3].

Розрахункова товщина стінки з умові міцності:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P} = \frac{0,1013 \cdot 0,4}{2 \cdot 136,37 \cdot 0,9 - 0,3} = 0,000134 \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії приймаємо рівним  $C_e = 0$ , додаток до мінусового відхилення  $C_2 = 0,8$  мм, технологічний додаток до розрахункової товщини  $C_3 = 0$ .

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні  $S'$ :



$$S' = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 0,134 + 0,5 + 0,8 + 0 = 1,434 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S = 6 \text{ мм.}$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$\frac{S + C}{D} = \frac{6 \cdot 10^{-3} + 1,3 \cdot 10^{-3}}{0,3} = 0,0185 < 0,1$$

$$S \geq \frac{D}{1000} + 2,5 \cdot 10^{-3} = \frac{0,4}{1000} + 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,0029 \text{ м.}$$

$$6 \cdot 10^{-3} \text{ м} > 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Умови застосування розрахункових формул виконуються.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск  $[p]$ .

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 136,67 \cdot 1 \cdot (5 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-3})}{2 + 5 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-3}} = 3,512 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності

$$p \leq [p] \quad 0,1013 \text{ МПа} \leq 3,512 \text{ МПа}$$

Висновок: Товщина стінки граючої камери, яка задовольняє умовам міцності при дії лише внутрішнього тиску дорівнює  $S=6 \text{ мм.}$

#### 4.2.8 Розрахунок штуцерів

Мета: Виконати розрахунок геометричних параметрів штуцерів.

Порядок розрахунку розмірів штуцерів та методика проведення даного розрахунку складена згідно [10], і передбачає підрахунок діаметру штуцера.

Вихідні дані:

масові витрати речовини на вході, кг/с,  $G_{\text{п}}$  0,262;

масові витрати речовини на виході, кг/с,  $G_{\text{к}}$  0,0656;

густина речовини, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{п}}$  988;

густина речовини, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{к}}$  764;

масові витрати пари, кг/с,  $G_{\text{гп}}$  0,227;

густина пари, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{гп}}$  0,598;

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		113

густина конденсату, кг/м <sup>3</sup> , $\rho_{\text{конд}}$	958,4;
масові витрати вторинної пари, кг/с, $G_{\text{вп}}$	0,198;
густина вторинної пари, кг/м <sup>3</sup> , $\rho_{\text{вп}}$	0,1302;

Порядок розрахунку:

Діаметр штуцерів визначається за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi w \rho}},$$

де  $G$  – масовий видаток теплоносія,

$\rho$  – густина теплоносія,

$w$  – швидкість руху теплоносія в штуцері.

Приймаємо для розрахунку швидкості: пари, що гріє  $w_{\text{en}} = 20$  м/с;  
конденсату  $w_{\text{конд}} = 0,5$  м/с; вторинної пари  $w_{\text{вп}} = 12$  м/с; розчину, що надходить  
 $w_n = 2$  м/с; упареного розчину  $w_k = 0,5$  м/с.

Діаметр патрубку для подачі:

$$d_{\text{en}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,227}{3,14 \cdot 0,598 \cdot 20}} = 0,155 \text{ м};$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,227}{3,14 \cdot 958,4 \cdot 0,5}} = 0,0246 \text{ м};$$

$$d_{\text{вп}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,197}{3,14 \cdot 0,1302 \cdot 12}} = 0,400 \text{ м};$$

$$d_{\text{p1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,262}{3,14 \cdot 988 \cdot 2}} = 0,013 \text{ м};$$

$$d_{\text{p2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0656}{3,14 \cdot 763 \cdot 0,5}} = 0,0148 \text{ м}.$$

Відповідно до розрахунків приймаємо стандартні штуцери наступних розмірів:

	$D_y$ , мм		$D_y$ , мм
Вхід пари, що гріє	200	Вихід розчину	15

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Вихід вторинної пари 400

Вихід конденсату 25

Вхід розчину 15

Висновок: В ході проведених розрахунків було підібрано штуцери для подачі та відведення: води, середовища та повітря.

#### 4.2.9 Розрахунок трубної решітки випарного апарату

Метою розрахунку – є визначення товщини трубної решітки апарата.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.21.

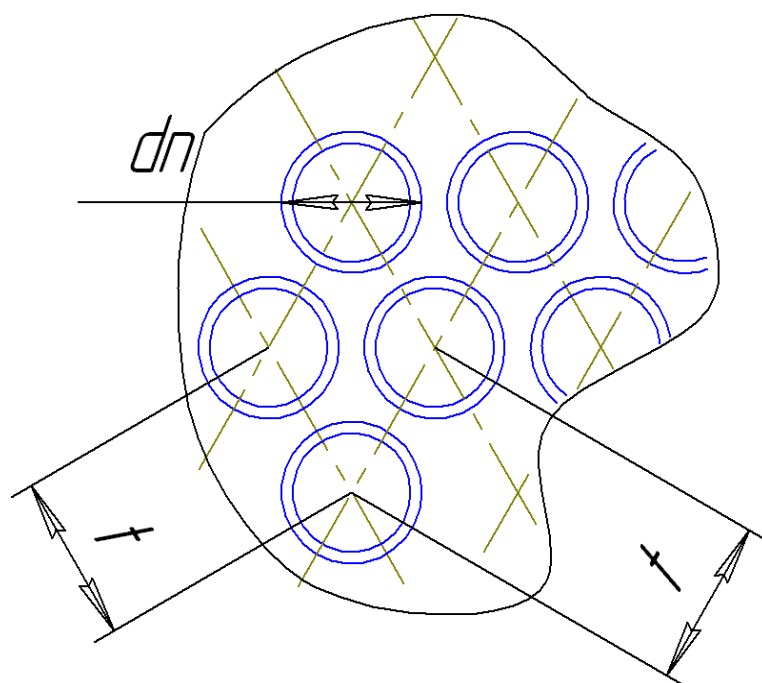


Рисунок 4.21 – Схема трубної решітки

Вихідні дані:

Тиск в трубному просторі  $P_m$ , МПа 0,0199;

Тиск в міжтрубному просторі  $P_m$ , МПа 0,1013;

Діаметр апарата  $D$ , м 0,4;

Товщина стінки кожуха апарата  $S_k$ , м 0,006;

Кількість труб,  $n$  30;

Зовнішній діаметр труб  $d_n$ , м 0,038;

Товщина стінки трубки  $S_t$ , м 0,002;

Довжина труб $L$ , м	4;
Температура труб $t_m$ , °C	90;
Температура кожуха $t_k$ , °C	80;
Крок труб $t$ , м	0,048;
Ширина полки фланця $b_l$ , м	0,1;
Прибавка до товщини решітки, яка враховує корозію $C$ , м	0,005;
Коефіцієнт температурного розширення труб $\alpha$ , 1/°C	$14,5 \cdot 10^{-6}$ ;
Коефіцієнт температурного розширення кожуха $\alpha_k$ , 1/°C	$12,5 \cdot 10^{-6}$ ;
Модуль пружності матеріалу труб $E_t$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;
Модуль пружності матеріалу кожуха $E_k$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;
Модуль пружності матеріалу фланця $E_f$ , МПа,	$1,98 \cdot 10^5$ ;
Допустиме напруження матеріалу трубної решітки $[\sigma]$ , МПа	168;
Допустиме напруження матеріалу кожуха $[\sigma]_k$ , МПа	168;
Допустиме напруження матеріалу труб $[\sigma]_t$ , МПа	168;

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [3].

Коефіцієнт перфорації трубної решітки:

$$\alpha = 1 - \frac{n \cdot (d_3 - 2 \cdot S_T)^2}{D^2} = 1 - \frac{30(0,038 - 2 \cdot 0,002)^2}{0,4^2} = 0,783;$$

де  $n$  - кількість трубок;  $d_3$  - зовнішній діаметр трубок;  $S_T$  - товщина стінки трубки;  $D$  - діаметр апарата.

Площа поперечного перерізу трубок:

$$F_T = 0,785 \cdot n \cdot [d_3^2 - (d_3 - 2 \cdot S_T)^2] = 0,785 \cdot 30 [0,038^2 - (0,038 - 2 \cdot 0,002)^2] = 0,00678 \text{ м}^2.$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		116

Площа поперечного перерізу корпусу:

$$F_k = 0,785 \cdot \left[ (D + 2 \cdot S_k)^2 - D^2 \right] = 0,785 \left[ (0,4 + 2 \cdot 0,006)^2 - 0,4^2 \right] = 0,00765 \text{ м}^2;$$

де  $S_k$  - товщина стінки корпусу апарата.

Розрахунковий температурний коефіцієнт:

$$\gamma = \alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K = 14,5 \cdot 10^{-6} \cdot 90^\circ - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 80^\circ = 3,05 \cdot 10^{-4};$$

де  $\alpha_T, \alpha_K$  - коефіцієнти температурного розширення трубок та корпусу;  $t_T, t_K$  - температури трубок та корпусу.

Відношення жорсткостей трубок та корпусу:

$$\rho = \frac{E_T \cdot F_T}{E_K \cdot F_K} = \frac{1,98 \cdot 10^5 \cdot 0,00678}{1,98 \cdot 10^5 \cdot 0,00765} = 0,887;$$

де  $E_T, E_K$  - модулі пружності матеріалу трубок та корпусу.

Модуль пружної основи трубок:

$$K = \frac{8 \cdot E_T \cdot F_T}{L \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{8 \cdot 1,98 \cdot 10^5 \cdot 0,00678}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,4^2} = 5346;$$

де  $L$  - довжина трубок.

Розрахунковий тиск:

$$\begin{aligned} P_0 &= (0,6 + 0,4 \cdot \alpha) \cdot (P_M - P_T) - \rho \cdot (P_T - 0,6 \cdot P_M) + \gamma \cdot K \cdot \frac{L}{2} = \\ &= (0,6 + 0,4 \cdot 0,783) \cdot (0,1013 - 0,0199) - 0,887(0,0199 - 0,6 \cdot 0,1013) + \\ &+ 3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 5346 \cdot \frac{4}{2} = 3,372 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

де  $P_M, P_T$  - тиски у міжтрубному та трубному просторі;  $P_{np}$  - пробний тиск.

Товщина трубної решітки:

$$S_p = \left[ 17 \cdot S_k \cdot \sqrt[4]{\frac{L}{2} \cdot \frac{P_0}{[\sigma]}} \right]^{0,8} + c = \left[ 17 \cdot 0,006 \sqrt[4]{\frac{2}{2} \cdot \frac{3,372}{152}} \right]^{0,8} + 0,002 = 0,0101 \text{ м};$$

де  $[\sigma]$  - допустиме напруження для трубної решітки;  $c$  - прибавка до товщини решітки, яка враховує корозію.

Приймаємо товщину решітки  $S_p = 0,012 \text{ м}$ .

Коефіцієнт міцності трубної решітки:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Піліпис	Лат		117

$$\phi_p = \frac{t - d_3}{t} = \frac{0,048 - 0,038}{0,048} = 0,208;$$

де  $t$  - крок трубок.

Розрахунковий коефіцієнт перфорації:

$$\alpha_p = \alpha \cdot \left( 0,8 + 0,2 \cdot \frac{d_3}{S_p} \right) = 0,783 \cdot \left( 0,8 + 0,2 \cdot \frac{0,038}{0,0101} \right) = 1,215.$$

Коефіцієнт жорсткості перфорованої плити:

$$\psi_0 = \alpha_p^2 \cdot \sqrt[3]{\alpha_p} = 1,215^2 \cdot \sqrt[3]{1,215} = 1,576.$$

Коефіцієнт жорсткості трубної решітки:

$$\psi_p = \psi_0 \cdot \left( 1 + 0,1 \cdot \frac{d_3}{S_p} \right) = 1,576 \cdot \left( 1 + 0,1 \cdot \frac{0,038}{0,0101} \right) = 2,168.$$

Жорсткість трубної решітки при вигині:

$$D_\psi = \psi_p \cdot \frac{E_p \cdot S_p^3}{10,9} = 2,168 \cdot \frac{1,98 \cdot 10^5 \cdot 0,0101^3}{10,9} = 0,0407;$$

де  $E_p$  - модуль пружності матеріалу решітки .

Коефіцієнт системи решітки –труби, 1/м:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K}{D_\psi}} = \sqrt[4]{\frac{5346}{0,0407}} = 19,035 \text{ 1/м}.$$

Товщина полки фланця:

$$h = S_p - 0,003 = 0,0101 - 0,003 = 0,00711 \text{ м}.$$

Безрозмірний параметр:

$$\omega = \beta \cdot \frac{D}{2} = 19,035 \cdot \frac{0,4}{2} = 3,807.$$

Коефіцієнт піддатливості системи кожух –решітка:

$$\beta_\kappa = \frac{1,28}{\sqrt{\frac{D}{2} \cdot S_\kappa}} = \frac{1,28}{\sqrt{\frac{0,4}{2} \cdot 0,006}} = 36,95 \text{ 1/м}.$$

Відстань від центра тяжіння перерізу фланця до вісі апарата:

$$R = \frac{D}{2} + S_\kappa + \frac{b_1}{2} = \frac{0,4}{2} + 0,006 + \frac{0,11}{2} = 0,261 \text{ м};$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		118

де  $b_1$  - ширина полки фланця.

Жорсткість фланцевого з'єднання:

$$K_{\phi} = 2 \cdot E_{\phi} \cdot \left[ \frac{b_1 \cdot h^3}{12 \cdot R^2} + 0,24 \cdot \frac{S_K^3}{\sqrt{\frac{D}{2}} \cdot S_K} \cdot \left( 1 + \frac{\beta_k \cdot h}{2} \right) \right] =$$

$$= 2 \cdot 1,98 \cdot 10^5 \cdot \left[ \frac{0,11 \cdot 0,00711^3}{12 \cdot 0,261^2} + 0,24 \cdot \frac{0,006^3}{\sqrt{\frac{0,4}{2}} \cdot 0,006} \cdot \left( 1 + \frac{36,95 \cdot 0,00711}{2} \right) \right] = 0,689 \text{ МН};$$

де  $E_{\phi}$  - модуль пружності матеріалу фланців;  $h$  - товщина полки фланця.

Жорсткість фланця при крутінні:

$$K_{кр} = \frac{E_p \cdot b_1 \cdot h^3}{12 \cdot R^2} = \frac{1,98 \cdot 10^5 \cdot 0,11 \cdot 0,00711^3}{12 \cdot 0,261^2} = 0,00958 \text{ МН}.$$

Жорсткість стінки корпусу при вигині:

$$K_K = 0,24 \cdot E_K \cdot \frac{S_K^3}{\sqrt{\frac{D}{2}} \cdot S_K} = 0,24 \cdot 1,98 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,006^3}{\sqrt{\frac{0,4}{2}} \cdot 0,006} = 0,296 \text{ МН}.$$

Допоміжна величина:

$$\theta = \frac{D \cdot K}{2 \cdot \beta^2 \cdot K_{\phi}} = \frac{0,4 \cdot 5346}{2 \cdot 19,035^2 \cdot 0,689} = 4,279.$$

Допоміжна величина:

$$T = \frac{D \cdot K}{4 \cdot \beta_k^2 \cdot \beta \cdot K_{\phi}} \cdot \left( 1 + \frac{\beta_k \cdot h}{2} \right) \cdot P_M =$$

$$= \frac{0,4 \cdot 5346}{4 \cdot 36,95^2 \cdot 19,035 \cdot 0,689} \cdot \left( 1 + \frac{36,95 \cdot 0,00711}{2} \right) \cdot 0,1013 = 0,00342.$$

Коефіцієнти:

$$\Phi_1 = \Phi_2 = 1,6 \cdot \omega^{0,94} = 1,6 \cdot 3,807^{0,94} = 5,622.$$

$$\phi_3 \cong \omega = 3,807.$$

Вигинаючий момент, розподілений по контуру решітки:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		119

$$M_a = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{P_0 \cdot \frac{D}{2} \cdot \Phi_2 - T \cdot (\Phi_1 + 2 \cdot \rho)}{(\Phi_1 + 2 \cdot \rho) \cdot (\Phi_3 + \theta) - \Phi_2^2} =$$

$$= \frac{1}{19,035} \cdot \frac{3,372 \cdot \frac{0,4}{2} \cdot 5,622 - 0,00342 \cdot (5,622 + 2 \cdot 0,887)}{(5,622 + 2 \cdot 0,887) \cdot (3,807 + 4,279) - 5,622^2} = 0,00704 \text{ МН} \cdot \text{м} / \text{м}.$$

Перерізуюча сила, розподілена по контуру трубної решітки:

$$Q_a = \frac{P_0 \cdot \frac{D}{2} \cdot (\Phi_3 + \theta) - T \cdot \Phi_2}{(\Phi_1 + 2 \cdot \rho) \cdot (\Phi_3 + \theta) - \Phi_2^2} =$$

$$= \frac{3,372 \cdot \frac{0,4}{2} \cdot (3,807 + 4,279) - 0,00342 \cdot 4,105}{(5,622 + 2 \cdot 0,887) \cdot (3,807 + 4,279) - 5,622^2} = 0,193 \text{ МН} / \text{м}.$$

Характеристика забиття решітки по контуру:

$$m = \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = \frac{19,035 \cdot 0,00704}{0,193} = 0,695.$$

Коефіцієнт  $A = 0,85 \cdot m = 0,85 \cdot 0,695 = 0,591$ .

Розрахунковий вигинаючий момент в трубній решітці:

$$M = A \cdot \frac{Q_a}{\beta} = 0,591 \cdot \frac{0,193}{19,035} = 0,00598 \text{ МН} \cdot \text{м} / \text{м}.$$

Висновок: приймаємо товщину трубної решітки  $S_p = 0,012 \text{ м}$ .

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		



## 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Ряд нових проблем ставить науково-технічний прогрес. Застосування нових матеріалів, конструкцій і процесів, іновації технічної оснащеності машинобудівних підприємств, підвищення швидкостей і потужностей машин впливають на характер і частоту нещасливих випадків і захворювань на виробництві. Затрати праці на одиницю продукції зменшує автоматизація виробництва, але з цим з'явився ряд проблем, пов'язаних з підвищенням нервово-психічного навантаження на операторів, і тощо.

Темою магістерської дисертації “Модернізація установки виробництва глютамінової кислоти з розробкою ферментера та випарного апаратів”.

У магістерській дисертації розглянуто лінію виробництва глютамінової кислоти. Контроль параметрів технологічного процесу здійснює оператор лінії, що знаходиться в операторній площі  $S=34 \text{ м}^2$ , а його об'єм складає  $V=136 \text{ м}^3$ .

Небезпечними та шкідливими виробничими факторами при роботі і обслуговуванні лінії являються:

- шум і вібрації;
- промислове освітлення;
- повітря робочої зони;
- електробезпека;
- пожежна безпека та надзвичайні ситуації.

### Шум та вібрації

Лінія розміщена в приміщенні - закритого типу. Основними джерелами шуму при роботі є вали, що обертаються, електродвигуни, вентилятори в яких шум досягає 90 дБА.

Заходи по зниженню шуму механічного походження:

- облицювання звукопоглинаючим матеріалом;

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

- звукоізоляція – дверного отвору приміщення;
- глушіння шуму вентиляційних установок;
- слідування за рівнем мастила в підшипникових вузлах, що обертаються.

Для індивідуального захисту використовуються: протишумові навушники ПШН-Б ГОСТ 12.4.051.87, протишумні вкладиші «Беруши СТ-1» ТУУ25513947.002-99.

Ці заходи дозволяють знизити рівень шуму до 55 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

### **Промислове освітлення**

В денний час виробниче приміщення освітлюється природним світлом. Воно проникає через 12 бічні світлопрорізи, розміри яких  $1,5 \times 1,0$  м, зорієнтовані на північ і забезпечує коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Вікна мають регулювальні пристрої для відкривання, а також жалюзі.

Штучне освітлення виконане у вигляді суцільних ліній світильників. Рівень освітленості має складати 300 Лк. Для штучного освітлення вибрані світлодіодні лампи потужністю 8 Вт зі світловим потоком 900 Лм. Кількість ламп складає 8 штук тому освітленість складає 330 Лк, що відповідає вимогам ДБНВ 2.5.28-2006.

Використовуємо систему вимикачів, це дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення.

### **Повітря робочої зони**

Параметри відносної вологості температури і швидкості руху повітря в робочій зоні для даної категорії робіт наведено у таблиці 5.1.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Параметри забезпечуються в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 70–90 °С, а в теплий час року – приточно - витяжною вентиляцією згідно таблиці 5.1 відповідають ДСН 3.3.6.042–99.

Таблиця 5.1 - Параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні.

Сезон року	Категорія робіт – 1б					
	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Оптим	Фактич	Оптим	Фактич	Оптим	Фактич
холодний	19–25	19–20	Не більше 75	40–65	Не більше 0,2	0,2
теплий	19–25	20– 25	Не більше 75	40–70	Не більше 0,2	0,2

Параметри повітря робочої зони становлять: пил глютамінової кислоти ГДК = 5 мг/м<sup>3</sup>. Для зменшення пилу у місцях встановлено витяжну вентиляцію парасольку.

Для відводу пилу над ферментером встановлюється витяжний зонт (зображено на рисунку 5.1). Для зонта характерно те, що між джерелом і приймачем є захищений від навколишнього середовища простір.

Параметри витяжного зонта:

повна висота зонта:  $h_z = 2$  м;

площа перерізу зонта:  $F = 12,25$  м<sup>2</sup>;

середня швидкість в перерізі зонта:  $V_0 = 1,5$  м/с;

об'єм повітря, що видаляється витяжною трубою від зонтів:  
 $J_z = 4596$  м<sup>3</sup>/год.

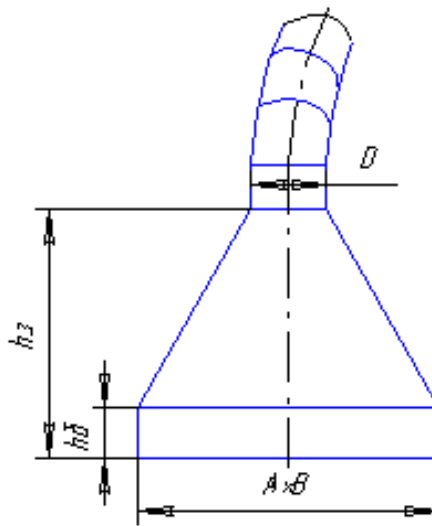


Рисунок 5.1 – Схема зонта

Встановлено осьовий вентилятор МЦ-6, продуктивність якого становить  $J_v = 7400 \text{ м}^3/\text{год}$ , з двигуном потужність 4,5 кВт.

Умови для забезпечення ефективної роботи зонта:

- об'єм підтікаючої течії повітря менше об'єму відсмоктуваного повітря;
- розміри вхідного отвору зонта більше розмірів джерела;
- вертикальний шлях між кромкою зонта і верхньою кромкою накритого осередку виділення шкідливих речовин мінімальний.

Після встановлення витяжної парасольки фактичний пил становить  $3 \text{ мг/м}^3$  відповідають ГОСТ 12.1.005–98.

Для індивідуального захисту працівників від пилу застосовують респиратори газопило захисні «ТОПОЛЬ» (ЗІЗОД-ФГП-310) по ТУ У 13486464.

### Електробезпека

Приміщення згідно ПУЕ-83 відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою. На пульті управління напруга  $U = 220 \text{ В}$ , частота  $f = 50 \text{ Гц}$ . Тип електромережі із ізольованою нейтралю.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		124

Нещасні випадки від впливу електричного струму мають наступні причини:

- випадковий дотик до струмоведучих частин;
- поява напруги на конструктивних металевих частинах електроустаткування корпусів в результаті ушкодження ізоляції й інших причин;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання дроту на землю.

Для безпечної роботи з електроустаткуванням рубильники включення закриті в спеціальні шафи, кабелі й дроти вкладені в труби й заховані під підлогу, при роботі з електроінструментами застосовуються індивідуальні засоби захисту.

При експлуатації електроустаткування дотримуватися наступних правил безпечної роботи:

- інструктаж і навчання безпечним методам праці;
- рубильники замкнені в спеціальних шафах;
- при роботі з електроінструментом використовують малі напруги, а також обладнання з подвійною ізоляцією;
- перед проведенням ремонтних робіт на встаткуванні лінії електродвигуни повинні бути зупинені.

Забороняється при експлуатації електроустаткування :

- проводити роботи на незанулених вузлах лінії;
- допускати до роботи людей, які не пройшли навчання і перевірку знань;
- робити ремонт електроустаткування особам, які не мають права допуску;
- входити в розподільну щитову;
- відкривати електрозбірки;

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

- входити в місця, де висять таблички «Вхід заборонений», «Небезпечно для життя» й інші попереджувальні написи.

В аварійному режимі застосовується захисне автовідключення і захисне заземлення, відповідно до ГОСТ 12.1.030-81/91 (наведено розрахунок заземлення).

#### Аварійний режим захисного заземлення

Відповідно до правил встановлено електроустаткування напругою до 1000В допустиме напруження дотику 40В з струмом замикання на “землю” 10А, тобто опір пристрою, що заземлює, не повинне перевищувати 3,6 Ом.

Струм, що проходить через людину (без заземлення):

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{люд}} + \frac{r}{3}} = \frac{380}{5000 + \frac{20000}{3}} = 0,0325 \text{ А} = 33 \text{ мА}$$

де  $R_{\text{л}}$  – опір тіла людини, який при розрахунках приймається рівним 5000 Ом;  $U_{\Phi}$  – фазна напруга, В;  $r$  – опір стікання, Ом. Такий струм небезпечний для життя людини. Схема заземлення представлена на рисунку 5.2

Контурне заземлення складається з горизонтальних і вертикальних електродів. Сталевий кутник розміром 50х50 мм довжиною 4 м (рисунок 5.3) використовується як вертикальний електрод. Для зв'язку вертикальних електродів використовується смуга сталь перетином 5х15 мм, довжина смуги дорівнює 36 м.

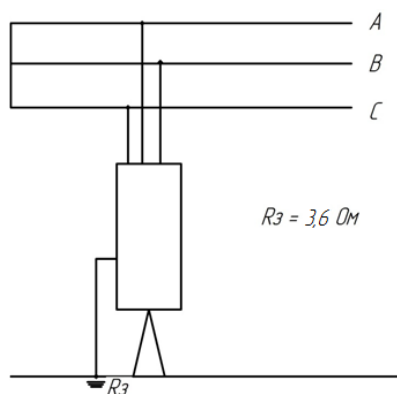


Рисунок 5.2 – Схема заземлення

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		126

Еквівалентний діаметр куточка за формулою:

$$d_e = 0,95 \cdot b = 0,95 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,0475 \text{ м},$$

де  $b$  – розмір полиць сталевго куточка, приймаємо  $b=0,05$  м.

Для установки вертикальних заземлювачів попередньо виривають траншею глибиною 0,7 – 0,8 м, після чого за допомогою механізмів забивають куточки.

Відстань від поверхні землі до середини вертикального електрода, що заземлює:

$$t = \frac{l}{2} + t_0 = \frac{5}{2} + 0,9 = 3,4 \text{ м},$$

де  $l$  – довжина сталевго куточка, що використовується як вертикальний електрод, м.; приймаємо  $l=4$  м [23];  $t_0$  – глибина не промерзання ґрунту, приймаємо  $t_0 = 0,9$  м.

Опір одного електрода  $R$  Ом, що заземлює:

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left( \ln \frac{2,1 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2t + l}{4,2t - l} \right) = \\ &= \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 4} \left( \ln \frac{2,1 \cdot 4}{0,048} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2 \cdot 3,4 + 4}{4,2 \cdot 3,4 - 4} \right) = 21,49 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

де  $\rho$  – питомий опір ґрунту, приймаємо  $\rho = 100$  Ом·м.

Заземлення має за умовами безпеки малий опір. Тому застосовуємо груповий заземлювач, що складається з декількох паралельно включених одиночних заземлювачів (електродів).

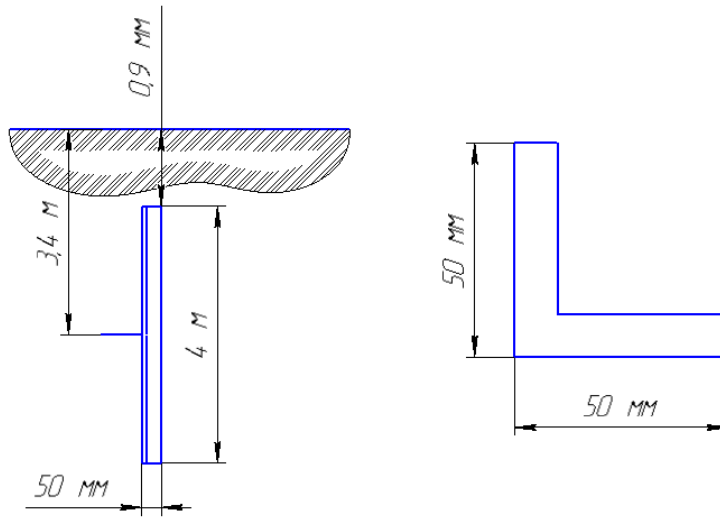


Рисунок 5.3 – Схема розміщення сталевго кутика

Необхідна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R \cdot K_c}{R_{3y} \cdot \eta_i} = \frac{21,49 \cdot 1,75}{3,6 \cdot 0,85} = 12,29 \approx 13 \text{ шт.},$$

де  $K_c$  – коефіцієнт сезонності, приймаємо  $K_c = 1,75$ ;  $R_{3y}$  – необхідний опір пристрою, що заземлює, з таблиці приймаємо  $R_{3y} = 3,6$  Ом;  $\eta_i$  – коефіцієнт використання заземлювачів, з таблиці приймаємо  $\eta_i = 0,85$ .

Еквівалентний діаметр сполучної стрічки:

$$d_{дэ} = 0,5 \cdot b_c = 0,5 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,0075 \text{ м.},$$

де  $b_c$  – розмір смуги, м.; приймаємо  $b_c = 15$  мм.

Опір смугової стрічки за формулою:

$$R_{л} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{l^2}{d_{дэ} \cdot t_0} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 36} \ln \frac{36^2}{0,0075 \cdot 0,9} = 5,38 \text{ Ом}$$



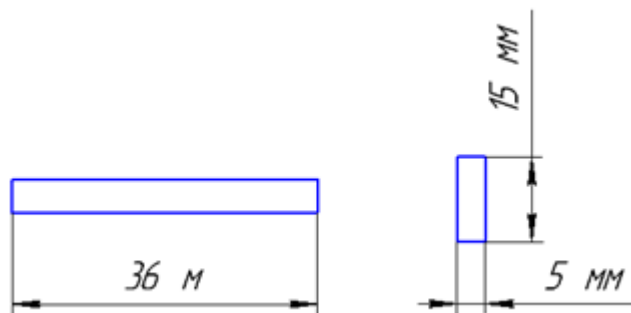


Рисунок 5.4 – Схема розміщення смугової сталі

Загальний опір розтікання струму по всьому пристрої, що заземлює, за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\eta_i \cdot \frac{n}{R} + \frac{\eta_{\text{мул}}}{R_{\text{л}}}} = \frac{1}{0,85 \cdot \frac{13}{21,49} + \frac{0,72}{5,38}} = 1,54 \text{ Ом},$$

де  $\eta_{\text{мул}}$  – коефіцієнт використання сполучної стрічки, з таблиці приймаємо  $\eta_{\text{мул}} = 0,72$ .

Розрахований пристрій складається з 13 заземлювачів і металевої стрічки, загальний опір розтіканню струму пристрою дорівнює:

$$R_{\Sigma} = 1,54 \text{ Ом} < 3,6 \text{ Ом}$$

При заземленні устаткування струм, що проходить через людину буде дорівнювати :

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{люд}} + \frac{r}{3} + \frac{R_{\text{люд}} \cdot r}{3 \cdot R_3}} = \frac{380}{5000 + \frac{20000}{3} + \frac{5000 \cdot 20000}{3 \cdot 3,6}} = 0,0002039 \text{ А} = 0,2 \text{ мА} ,$$

де  $R_3$  – опір заземлення,  $R_3 = 3,6 \text{ Ом}$ .

Отримана нерівність свідчить що пристрій, який заземлює, цілком відповідає вимогам ГОСТ 12.1.030-82.

## Пожежна безпека та надзвичайні ситуації

У виробничому цеху може горіти: машинне масло та тверді горючі речовин (столи, стільці). На основі цього приміщення відноситься до категорії В і класу зони П-Па. Виходячи з категорії пожежної небезпеки виробництва по СНиП 2.01.02-85 вибираємо II степінь вогнестійкості будівель для ділянки робіт що проектується.

В цьому виробництві використовуються горючі речовини в якості палива.

Для боротьби з пожежами застосовують наступні методи:

1. Ізолювання осередку горіння від повітря;
2. Охолодження осередку горіння до температури нижчої точок загорання матеріалів, які знаходяться в небезпечній зоні;
3. Сповільнення швидкості хімічної реакції в полум'ї;
4. Механічно зривають полум'я впливаючи на нього сильними потоками газу, води, порошку;
5. Створення умов, при яких полум'я може розповсюджуватись тільки через вузькі канали, при цьому зменшується сила полум'я і площа осередку пожежі.

В якості засобів гасіння пожежі використовують порошкові вогнегасники з пусковим балоном ОП-5 (3 шт.) та ОП-9 (2 шт.) В якості засобів оповіщення встановлена пожежна сигналізація із термооповіщувачами ПК4Г. Також встановлені установки пожежотушіння порошкові типу САМ-6 в кількості 6 на всю площу.

### Надзвичайна ситуація

Біля виробництва глютамінової кислоти знаходиться виробництво на якому відбувся вибух сильнодіючих отруйних речовин. Відстань від цеху до хімічного об'єкту складає 5 км. Небезпечна хімічна речовина хлор, масою 5тонн. Швидкість приземного вітру складає 2 м/с. Місцевість між небезпечним

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		130

хімічним об'єктом та цехом відкрита. Середня швидкість руху хмари складає 10км/год.

Глибина зони хімічного зараження (ЗХЗ) складає 9,2 км. Ширина ЗХЗ складає 1,84 км. Площа ЗХЗ – 8,464. Так як цех знаходиться в 5 км від виробництва, а глибина ЗХЗ складає 9,2 км, то цех потрапляє в ЗХЗ.

Хмара до території цеху дійде за 30 хвилин за середньою швидкістю вітру. Зараження території хлором відбудеться за 15,4 годин.

На протязі перших хвилин коли хмара дійде до території дози хлору будуть невеликі, але за цей час треба встигнути за протигазами. Заходами при отруйних речовинах приймають повітряний апарат МПА -4,5х30. Цей апарат зможе захистити на протязі 40 хвилин, що дозволить евакуювати людей з приміщень та вивезти їх із зони зараження.

Заздалегідь треба розробити план евакуації. Проводення евакуаційних заходів під час надзвичайних ситуаціях дозволяє захистити робітників від гибелі.

План евакуації зображено на рисунку 5.5.

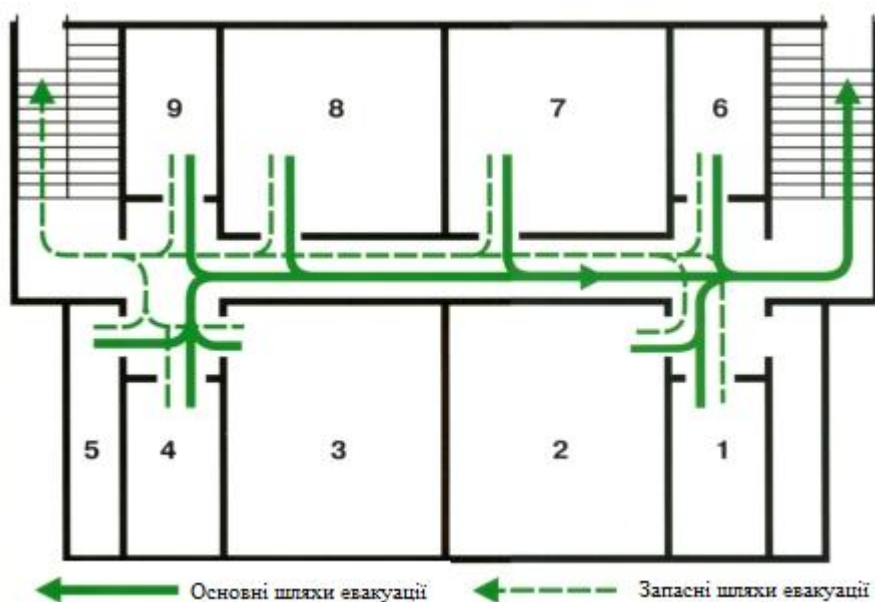


Рисунок 5.5 – План евакуації

## **6 Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки виробництва глутамінової кислоти**

Рекомендації по монтажу полягають в встановленні апаратів на фундаменті, приєднання трубопроводів, штуцерів, встановленні та приєднанні допоміжного обладнання, приладів теплового контролю та автоматичної регуляції. Здійснюється налагодження роботи апаратів.

Виготовлення, контроль і монтаж згідно з ГОСТ 15.005-86 для обладнання одиничного і мало серійного виробництва.

Внутрішні поверхні апаратів і труб за встановлених правил зберігання і монтажу мають забезпечувати працездатність апаратів під час випробувань і експлуатації без проведення робіт по їх очищенню від забруднень і корозії.

На складових частинах мають бути:

- підготовлені поверхні, отвори призначені для кріплення;
- опломбовані роз'єми обладнання;
- відбалансовані складальні одиниці і деталі, що обертаються;
- підготовлені кромки, що підлягають зварюванню;
- внутрішні пристрої захищені від деформування або зміщення під час транспортування.

Внутрішні поверхні, які мають захищатись від корозії під час транспортування, зберігання і монтажу, консервують речовинами і способами, що не потребують розбирання обладнання для розконсервації.

Використовуються марки конструкційних матеріалів, розміри і конструкції апарата в цілому відповідають кресленням.

Зовнішній огляд і вимір зварних швів підлягають усі зварні з'єднання за методикою, приведеною в ДСТ 3242-79, роблять після очищення від шлаку та інших забруднень.

Ферментер за монтажні штуцери, випарний апарат піднімається за опори за допомогою вантажопідйомних пристроїв, і кріпляться на фундамент в

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		132

вертикальному положені. Після проводиться перевірка відхилень від осей та відміток вертикальному напрямкі.

Вивірка апаратів здійснюється:

- по осях за допомогою натягнутої струни монтажним міткам;
- вертикальність за допомогою рівня, який встановлено на контрольній площадці;
- вертикальність вала - по рамному рівні (для ферментера).

Апарати мають прилягати до опор, якщо утворюються зазори їх потрібно заповнити повстяними або іншими пружними прокладками. Ширина опор і відстань між осями приймається відповідно до розмірів, зазначених на кресленні.

Після закінчення монтажних робіт апарати піддаються випробуванню. Спочатку проводять огляд апаратів. Потім проводять випробування.

Гідравлічне випробування апаратів проводять разом з трубопроводами на тиск. При випробуваннях визначають герметичність та надійність роботи апаратів.

Після проводять перевірку витрат та температур теплоносіїв на вході та на виході з ферментера та випарного апарату, тиск всередині апаратів.

У випадку зупинки установки припиняється подача води. Вивантаження апаратів та промивку проводити за інструкцією.

Для безперебійної роботи необхідно: дотримання правил технічної експлуатації, виконання ремонтів устаткування, наявність запасних частин, які швидко зношуються.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						133
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

У даній магістерській дисертації, розробляється ферментер з механічним перемішуючим пристроєм та випарний апарат, які входять до складу лінії по виробництву глютамінової кислоти; запропоновано найбільша допустима кількість уніфікованих та стандартизованих одиниць та параметри, що не погіршують якість, основних показників установки.

При розробці апаратів використовуємо стандартні, уніфіковані вузли та деталі.

Ферментер:

Уніфікованими елементами є: кришки еліптичні відбортовані за ГОСТ 6533-68; циліндрична обичайка за ГОСТ 9617-67; шайби за ГОСТ 906575; шпильки за ГОСТ 9066-75; гайки за ГОСТ 9064-75; фланці за ГОСТ 1282180; шпонки за ГОСТ 23360-78; болти за ГОСТ 26-2037-96; прокладки за ГОСТ 26430-79; штуцери за АТК 24.218.06-90.

Рівень стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} \cdot 100\% = \frac{618}{649} \cdot 100\% = 94,9 \%$$

рівень уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_3}{N} \cdot 100\% = \frac{616 + 12}{649} \cdot 100\% = 96,8 \%$$

де  $N$  - загальна кількість деталей у проєктованих ферментері, із них стандартних  $n_c$ , уніфікованих –  $n_3$ .

Випарний апарат:

Уніфікованими елементами є: кришки еліптичні відбортовані за ГОСТ 6533-68; циліндрична обичайка за ГОСТ 9617-67; шайби за ГОСТ 906575; шпильки за ГОСТ 9066-75; гайки за ГОСТ 9064-75; фланці за ГОСТ 1282180;; болти за ГОСТ 26-2037-96; прокладки за ГОСТ 26430-79; штуцери за АТК 24.218.06-90.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						134
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Рівень стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} \cdot 100\% = \frac{548}{611} \cdot 100\% = 89,7 \%$$

рівень уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} \cdot 100\% = \frac{548 + 14}{611} \cdot 100\% = 91,9 \%$$

де  $N$  - загальна кількість деталей у проєктованих ферментері, із них стандартних  $n_c$ , уніфікованих –  $n_z$ .

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						135
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

## 8 Розроблення стартап-проекту

### 8.1 Опис ідеї проекту

На сьогоднішній день використання ліків та підсилювачів смаку зростає. Стартап по провадженню нових технологій у біотехнічні, фармацевтичні та харчові виробництва. Основна ідея наведено у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проект

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея проекту надання інженерних аутсорсинг ових послуг	1. Інженерні послуги в біохімічній, фармацевтичній та харчовій галузях	Користувач отримує модернізацію або розробку обладнання, яке має менші показники енерговитрат та високої якості.
	2. Дослідження та аналіз в біохімічній, фармацевтичній та харчовій галузях	Користувач може перевіряти роботу обладнання до виготовлення різних видів продуктів.
	3. Фінансова звітність в біохімічній, фармацевтичній та харчовій галузях	Користувач може контролювати фінансову звітність по своєму проекту.

Такий підхід надає повний спектр послуг користувачу.

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначено перелік характеристик ідеї та техніко-економічних властивостей;



- визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів;
- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (таблиця 8.2).

Таблиця 8.1 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

п/п	Характеристики ідеї	(потенційні) конкурентів послуги				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Energy Saving Solutions	Wuxi Lanxing Pressure Vessel Co.,	SCHULZ - TECHNOLOGY			
1.	Інженерні послуги	має	має	має	має	-	-	+ Наш проект в порівнянні з іншими має більший спектр послуг
2.	Дослідження та аналіз	має	немає	має	немає	-	-	+ Клієнт може сам впевнитись в роботі обладнання
3.	Фінансова звітність	має	немає	немає	має	-	+ Клієнт контролює витрати по своєму проекту	-

Характеристики інженерні послуги та дослідження нашого проекту є сильною стороною. Всі конкуренти надають інженерні послуги, але кожен конкурент надає певні послуги, наш проект включає всі послуги, що надають інші. Клієнт може сам впевнитись у роботі свого обладнання, він може комплексно перевіряти його. Інший конкурент сам перевіряє своє обладнання і вправляє клієнтові. Нейтральною стороною є фінансова звітність, тому що є ще фірми які можуть контролювати фінансову звітність по своєму проекті. Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційних послуг, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

## 8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит способу, за допомогою якого можна реалізувати ідею проекту та наведено його у таблиці 8.3.

Таблиця 8.2 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Надання інженерних аутсорсингових послуг	Створення веб сайту та оренда офісу з компютерною технікою для роботи персоналу. Придбання програмного забезпечення для роботи. Наймання освічених фахівців.	Дані технології існують. В розробці/добробці їх немає необхідності, оскільки ми будемо залучати вже освічених фахівців, що вже мають спеціальну інженерну освіту	Дані технології доступні.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: є можливою				

За результатами аналізу видно, що можливості технологічної реалізації проекту, та методи реалізації є можливими.

### 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Основні оператори ринку:

Основними операторами ринку є державні та приватні конструкторські відділи, які виконують роботу тільки на власні підприємствах та організації, що виконують консалтингові послуги в сфері інжинірингу та аутсорсингу.

Таблиця 8.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап - проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100 тис.грн/ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	54%

За результатами аналізу таблиці 8.4 можна зробити висновок що є можливість входження на ринок.

Економічні та соціальні тенденції ринку:

На даний момент ринок знаходиться на стадії введення. Вхід України до Європейського Союзу вимагає збільшення конкурентоспроможності промисловості та введення нових інноваційних технологій та інвестицій.

Для опису ринку інжинірингу було використано дослідження по ємності ринку в Україні, млн. дол. за рік рисунок 8.1.

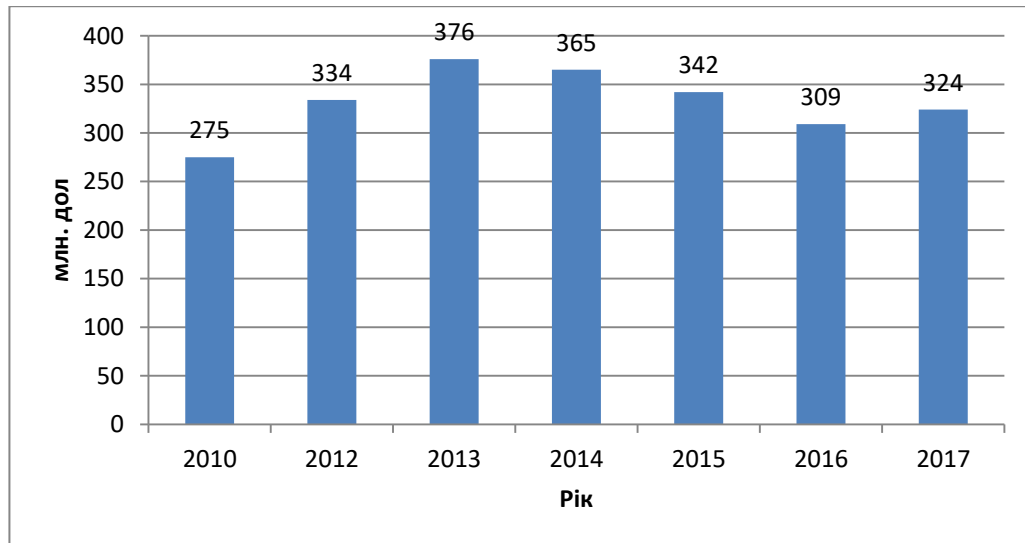


Рисунок 8.1 – Ємність консалтингового ринку в Україні

Аналіз вказує що наразі послуги починають приймати тенденцію зростання, хоча в 2014 році почалася тенденція спадання, пов'язана з військовими діями на сході.

Економіка України знаходиться на етапі виходу з кризи, внаслідок чого ринку розвивається повільно. Але через деякий час ринок може почати стрімко розвиватись, оскільки Україна вступила в зону вільної торгівлі з Європейським союзом. Саме із-за цього на ринку України виникає необхідність стандартизувати продукцію, що виробляється згідно вимог ЄС.

Споживачі даного ринку розміщені неоднорідно по світу. Найбільше споживачів знаходиться в країнах, що розвиваються. Саме тому ринок інжинірингу є перспективним.

Конкуренція на даному ринку є невеликою, оскільки даний вид діяльності є новим. Раніше більша частина підприємств мали власні відділи, що займались даним видом діяльності, а саме конструкторські бюро, відділи постачання та продажу. Цей проект передбачає співпрацю з клієнтом згідно його вимог, з захистом інтелектуальної власності клієнта. Також ми пропонуємо клієнту власні розробки, модернізації та інновації за вигідними умовами.

Споживча поведінка клієнтів має велике значення для старту проекту, оскільки від репутації нашої компанії залежить довіра потенційних покупців.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 8.5).

Таблиця 8.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Потреба в інноваційних високоефективних проектах для подолання наслідків попередніх економічних криз	Біохімічні компанії, харчові та фармоцептичні компанії.	Необхідність виготовлення продукції у відповідності до різних норм та стандартів	-відповідність до певних стандартів, -швидкість, -доступність.

Проаналізуємо докладно фактори маркетингового середовища (табл. 8.6-8.11), на основі яких виділимо фактори загроз (табл. 8.12) і фактори можливостей (8.13).

Таблиця 8.6 - Підсумкова таблиця факторів політико-правового середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
1	2	3	4
Закони України про правовий захист підприємства	Захист майна безпека праці, та інтелектуальної власності	Зміна законодавства України в негативну сторону	Вчасна оплата податків

Продовження таблиці 8.6 - Підсумкова таблиця факторів політико-правового середовища

1	2	3	4
Страхування	Захист від стихійних явищ та аварій	Невідомо	Планування праці
Закони України про приватну власність	Захист інтересів	Несправедливе законодавство	Захист від недобросовісних конкурентів
Міжнародне законодавство щодо функціонування підприємств	Нові клієнти в Європі та світі	Не відповідність законів	Знання міжнародного законодавства та відмова до співпраці в країнах де можуть бути несправедливе правове забезпечення
Інтелектуальна власність та закони про захист інтелектуальної власності	Захист власних розробок	Викрадення та копіювання ідей	Наймання спеціаліста з захисту інтелектуальної власності Патентування. Охорона приміщення
Зростання кримінальності в Україні	—	Втрата майна та коштів	Наймання охорони та встановлення сигналізації

Таблиця 8.7 - Підсумкова таблиця факторів економічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
1	2	3	4
Зміна ціни на робочі матеріали	Нові проекти	Зміна вартості проектів	Створення нових проектів з мінімальним застосуванням дорогих матеріалів та їх заміна на дешевші
Нестабільна економічна ситуація (кризи)	Докази важливості нашої діяльності.	Не зацікавленість багатьох клієнтів у співпраці та розвитку	Діяльність на покращення економічної ситуації в Україні та світі

Продовження таблиці 8.7 - Підсумкова таблиця факторів економічного середовища.

1	2	3	4
Збільшення цін на енергоресурси	Створення нових проектів енергозбереження	Не хватка коштів на оплату енергозабезпечення діяльності підприємства	Збільшити рентабельність на енергоаудит та обрати курс на створення енергоефективних виробництв

Таблиця 8.8 - Підсумкова таблиця факторів науково-технічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Створення нових тенденцій	Створення самому нових тенденцій	Втрата актуальності власних розробок	Пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та суміжних сферах
Відставання науки та техніки в галузях виробництва від провідних країн світу	Створення власних технологій.	Забезпечити конкуренцію в даній галузі інколи не можливо	Спроба зацікавити іноземних інвесторів в актуальності проекту

Таблиця 8.9 - Підсумкова таблиця факторів природного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Стихійні фактори (урагани та інше)	Проекти відновлення	Руйнування інфраструктури	Проекти по застосуванню інновацій в будівництві
Аварії техногенного походження	Проекти відновлення	Руйнування інфраструктури	Проекти по застосуванню інновацій в будівництві

Таблиця 8.10 - Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Конкурентоспроможність	Виграш в конкуренції	Програш в конкуренції	Постійний пошук способів підвищення конкуренції
Вартість послуг	Виграш в конкуренції	Програш в конкуренції	Пошук способів зниження вартості надання послуг
Якість послуг	Виграш в конкуренції	Програш в конкуренції	Пошук способів підвищення якості надання послуг

Таблиця 8.11 - Підсумкова таблиця впливу постачальників

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Вартість послуг	Збільшення доходу	Втрата доходу	Створення вигідних умов для обох сторін
Якість надання послуг	Збільшення іміджу	Зниження іміджу	Забезпечення якості постачання

На основі проведеного аналізу ринкового середовища: складаємо таблиці найбільш значимих факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці №№ 8.12-8.13). Фактори в таблиці подано в порядку зменшення значущості.

Таблиця 8.12 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	2	3
Аварії техногенного походження	Руйнування інфраструктури.	Облаштування захистом від аварій, проведення інструктажу з техніки безпеки.
Економічна криза	Неможливість модернізації та переобладнання	Зміна ціни на продукт



Продовження таблиці 8.12 - Фактори загроз

1	2	3
Науково-технічні: Невідповідність нашої продукції науково- технічному розвитку галузі	Зниження зацікавленості клієнтів до компанії	Пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та суміжних сферах діяльності

Таблиця 8.13 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні: Сворення нових тенденцій з залученням молодих вчених	Залучення молодих та перспективних кадрів	Розробка нового обладнання та конструкцій
Зміна ціни на робочі матеріали	Зміна ціни при виборі аналогів дорогих матеріалів	Встановлення своєї ціни на обладнання
Вихід на закордонний ринок	Нові клієнти в Європі та світі	Розробка нового обладнання

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 8.14).

Таблиця 8.14 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкуренто - спроможною)
1	2	3
1. Тип конкуренції монополістична	Товар кожної фірми є недосконалим замінником товару, який реалізують інші фірми	Компанія робить ставку на основні відмінності своєї продукції
2. За рівнем конкурентної боротьби національний	Іноземні компанії не конкурують з національними	Вихід на національний ринок. Охоплювати більшу кількість національних клієнтів

Продовження таблиці 8.14 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

1	2	3
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Товари замітники відрізняються типом, наповненням	Надання покращеного товару
4. Конкуренція за видами товарів товарно - видова	Клієнт вибирає кращу продукцію за властивостями або переваг з урахування задоволення своїх потреб	Просування та демонстрація товару, його потреб клієнта
5. За характером конкурентних переваг нецінова	Диференціація ціни, надійність	Спостереження за продукцією на ринку. Регулювання якості товару
6. За інтенсивністю - марочна	Підвищення каналів збуту, створення власного імені	Реклама в інтернеті. Збільшення ділових контактів

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 8.15).

Таблиця 8.15 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Підприємства які займаються аутсорсингом промислових підприємств	Конкурентом студенти технічних вузів або схожі підприємства-новатори	Постачальники мають вплив на прям продаж товарів, але на надання послуг вони не впливають	Цінова чутливість покупців. Прагнення нових технологій.	На даний момент аналогів майже немає
Висновки:	Їх перевага це досвід та відомість ім'я. За рахунок іновацій, спілкування з клієнтом надає змогу отримати клієнтів	Існує можливість виходу на ринок, а з цим існує можливість зустріти схожі підприємства-новатори	Від постачальника набуде залежати комплектуючі. Але в свою чергу є низка можливих постачальників	Ціна та якість, співвідношення має бути співмірним	Даний пункт є важливим для підприємства, тому що надається спектр послуг

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (таблиця 8.15), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 8.3), вимог споживачів до товару (таблиця 8.5) та факторів маркетингового середовища (таблиця № 8.12-8.13) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблиця. 8.16.

Таблиця 8.16 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Договірна ціна	Ціна буде розраховуватися під кожен проект окремо за домовленістю з клієнтом
2	Надійність	Клієнт буде отримувати якісну документацію та гарантійне обслуговування
3	Швидкість	Надання послуг в короткі терміни
4	Комплексний підхід	Надання не тільки розробки та модернізації, а також інших послуг

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 8.16) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 8.17).

Таблиця 8.17 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Договірна ціна	11		◇	△	□			
2.	Надійність	10		△	□	◇			
3.	Швидкість	14			□	△	◇		
4.	Комплексний підхід	7			△	□ ◇			

□ – ess.biz.ua

△ – en.lanxingpv.cn

◇ – schulz-tech.com.ua

Сильною стороною нашого проекту є договірна ціна, надійність, та комплексний підхід. Слабкою стороною може стати швидкість.

Таблиця 8.18 – формулювання управлінської проблеми SWOT- аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- енергозбереження та ресурсозбереження;</li> <li>- доступна вартість впровадження проекту;</li> <li>- адаптованість послуг на суміжні ринки;</li> <li>- договірна ціна;</li> <li>- надійність;</li> <li>- комплексний підхід;</li> <li>- інженерні послуги;</li> <li>- дослідження та аналіз.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- низький рівень фінансування;</li> <li>- програш іноземним компаніям;</li> <li>- зменшення постачальників за умови кризи;</li> <li>- швидкість;</li> <li>- фінансова звітність.</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- вихід на закордонний ринок;</li> <li>- створення нових тенденцій;</li> <li>- залучення молодих вчених;</li> <li>- зміна ціни на робочі матеріали.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- аварії техногенного походження;</li> <li>- економічна криза;</li> <li>- розвиток науково-технічного прогресу.</li> </ul>

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.19).

Таблиця 8.19 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Товар з мінімальними вратами	70%	Максимум рік
2	Підписання догосточових контрактів	89%	Максимум рік

Після аналізу обираємо альтернативу підписання довгострокових контрактів.

## 8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 8.20).

Таблиця 8.20 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Приватні промислові підприємства біохімічній, фармацевтичній та харчовій галузях	80%	75%	Конкуренція не велика	Висока
2	Державні промислові підприємства біохімічній, фармацевтичній та харчовій галузях	45%	50%	Висока конкуренція	Середня

Для здобуття репутації компанії потрібно починати з приватних компаній, а в подальшому розповсюджувати на державні підприємства. Вибрано стратегію концентрованого маркетингу для охоплення ринку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл. 8.21).

Таблиця 8.21 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підписання догостоконних контрактів	Концентрований маркетинг	Супровід систем, їх технічне обслуговування	Стратегія спеціалізації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.22).

Таблиця 8.22 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	На території України проект є першопрохідцем, для малих підприємств	Пошук нових клієнтів, які не зацікавлені на відомому бренді	Копіювання таких послуг на ринку такі як аудит підприємства	Стратегія зняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. таблиця 8.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 8.21) та стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.22) розробляється стратегія позиціонування (таблиця 8.23). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торговельну проект.

Таблиця 8.23 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Надання послуг на високому рівні	Стратегія спеціалізації	Стратегія зняття конкурентної ніші	Конкуренто-спроможні та інноваційні послуги за доступною ціною

### 8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.24 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 8.24 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує послуга	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Потреба в нових технологій в біохімічній, фармацевтичній та харчовій галузях	Швидкість та надійність, економія на ЗП	Швидкість, доступна ціна, надійність

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея послуги, його фізичні складові, особливості процесу його



надання (таблиця 8.25). Орієнтовний перелік можливих характеристик товару наведено у методиці [26].

До основних техніко-економічних характеристик товару відносяться:

- Економічні – вартість обслуговування, витратних матеріалів, ремонту, знижки;
- Надійності – безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;
- Технологічні – оптимізація витрат матеріалів, праці, коштів;
- Естетичні – оцінюють зовнішній вигляд товару;
- Транспортабельності – пристосованість продукції до транспортування, операцій перевезення;
- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на довкілля;
- Безпеки – безпечності та нешкідливості споживання товару.

Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 8.25.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						153
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Таблиця 8.25 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Послуга за задумом	Надання високо кваліфікованого аутсорсингу; зменшення витрат матеріальних і людських ресурсів		
II. Послуга у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічності: зниження затрат на ремонт обладнання; 2. Призначення: хімічні, харчові та біохімічні виробництва; 3. Технологічні: оптимізації витрат праці, коштів. 4. Безпека: відповідність нормативам; 5. Екологічність: відповідність нормативам.	–/+	+ /+ /+ /+ /+
	Якість: нормативи, міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, ISO, DIN та інші.		
	Документи виконані з логотипом підприємства.		
	Марка: Кейсо		
III. Послуга із підкріпленням	До продажу: представлення клієнту проекту		
	Після продажу: гарантійні консультації, супровід, обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Використанням власних запатентованих розробок, штампом.			

Захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару у патентному відомстві.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (таблиця 8.21).

Таблиця 8.21 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари – замітники	Рівень цін на товари – аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	Договірна	Немає	200 тис. грн/міс	Верхня: 30000 грн Нижня: 10000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8. 22).

Таблиця 8.22 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Замовлення проекту	Швидкість виконання, гарантія, надійність, доставка	Однорівнева	Власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 8.23).

Таблиця 8.23 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Орієнтоване на швидке та ефективне спілкування	Інтернет, виставки, друкована продукція	Продаж якісного товару; Чим довше партнерство, тим лояльніші ціни;	Демонстрація переваг продукції та послуг залежно від напрямку зацікавленості	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних

Результатом пункту 8.5 створено ринкову програму, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

## 8.6 Висновки до розділу

Відповідно до проведеного аналізу поява даного проекту є актуальна так як на ринку мала кількість компаній яка надає такий спектр послуг. Він має перспективи росту на ринку послуг.

Запатентована модернізація і розроблена конструкція ферментера, що буде впроваджена у даному стартап-проекті.

## Висновки

В магістерській дисертації модернізовано лінію по виробництву глутамінової кислоти.

Проведено опис технологічного процесу виробництва глутамінової кислоти. Підібрані ферментер та випарний апарат. Обґрунтовано обрані конструкції та Вибрані технічні характеристики. Проведено патентний пошук. Розроблено заходи, що до вимог охорони праці. Виконані розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів. Надано рекомендації з монтажу та експлуатації. Розроблено стартап-проект. Оцінено рівень стандартизації та уніфікації розроблюваних апаратів. Проведено розробку технологічного процесу виготовлення деталі (втулка) та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

В проведено модернізацію установки виробництва глутамінової кислоти шляхом встановлення вирізаних пластин на лопатях турбінної мішалки. У результаті модернізації інтенсифікували процес перемішування.

Графічна частина складається з десяти креслень в перерахунку на формат А1. Виконані креслення схеми установки виробництва глутамінової кислоти, функціональна схема автоматизації, складальні креслення ферментера та корпусу, випарного апарату, його трубої решітки, а також креслення центрифуги, пристосування для закріплення втулки на верстаті. До складальних креслень складено специфікації.

За результатами роботи отримано деклараційний патент України на корисну модель ферментера та опубліковано дві тези доповідей на Міжнародних конференціях та одна Всеукраїнській конференції.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		157

## Выводы

В магистерской диссертации модернизировано линию по производству глутаминовой кислоты.

Проведено описание технологического процесса производства глутаминовой кислоты. Подобранные ферментер и выпарной апарт. Обоснованно выбраны конструкции и Избранные технические характеристики. Проведен патентный поиск. Разработаны мероприятия, требованиям охраны труда. Выполнены расчеты, подтверждают работоспособность и надежность конструкций аппаратов. Даны рекомендации по монтажу и эксплуатации. Разработан стартап-проект. Оценен уровень стандартизации и унификации разрабатываемых аппаратов. Проведена разработка технологического процесса изготовления детали (втулка) и схемы автоматического управления технологическим процессом установки.

В проведена модернизация установки производства глутаминовой кислоты путем установления вырезанных пластин на лопастях турбинной мешалки. В результате модернизации интенсифицировали процесс перемешивания. Графическая часть состоит из десяти чертежей в пересчете на формат А1. Выполнены чертежи схемы установки производства глутаминовой кислоты, функциональная схема автоматизации, сборочные чертежи ферментера и корпуса, испарительного аппарата, его трубной решетки, а также чертежи центрифуги, приспособления для закрепления втулки на станке. К сборочных чертежей составлен спецификации.

По результатам работы получено декларационный патент Украины на полезную модель ферментера и опубликовано два тезиса докладов на международных конференциях и одна Всеукраинской конференции.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
						158
Змн.	Анк.	№ локум.	Піппис	Лат		

## Conclusions

In the master's thesis the line for the production of glutamic acid has been modernized.

A description of the technological process of production of glutamic acid is made. Selected fermentor and evaporating apartments. The chosen designs and Selected technical characteristics are substantiated. Patent search conducted. Developed measures that meet the requirements of occupational safety. Performed calculations, which confirm the efficiency and reliability of the designs of the apparatus. The installation and operation recommendations are given. A startup project has been developed. The level of standardization and unification of the developed devices is estimated. The development of the technological process of manufacturing the component (sleeve) and the schemes of automatic control of the technological process of the installation was carried out.

The modernization of the plant for the production of glutamic acid by installing the carved plates on the blades of a turbine mixer was carried out. As a result of modernization, the process of tightening intensified. The graphic part consists of ten drawings in terms of A1 format. The drawings of the scheme of the installation of production of glutamic acid, the functional scheme of automation, assembly drawings of the fermenter and the case, the evaporator, its pipe grating, as well as drawing of the centrifuge, devices for fixing the bushing on the machine are executed. Specifications are compiled for assembly drawings.

As a result of the work, Ukraine's declarative patent for a fermenter model has been received and two theses of reports have been published at the International conferences and one All-Ukrainian conference.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
						159
Змн.	Анк.	№ локум.	Піппис	Лат		

## Перелік посилань

1. ГОСТ 9931-85. Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.
2. <http://chem21.info/info/221357/> від 03.10.2018
3. Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
4. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры.
5. В.Н.Соколов. Аппаратура микробиологической промышленности / В.Н.Соколов, М.А. Яблокова. – Л.: Машиностроение, 1988. – 278 с.
6. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов/ Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. –10–у изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
7. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв. Навч. Посібник. Уз.ч. – Ч.1. Ферментація. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004.-240 с.
8. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – 2-е изд., перераб. и доп./ Плановский А.Н., Николаев П.И. – М.: Химия, 1972. – 630 с.
9. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
10. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник.–Л.:Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1981.–382 с., ил.
11. АТК 24.200.04-90. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		160



12. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов/ М. Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михалева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.

13. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на виброустойчивость валов механических перемешивающих устройств: Методические указания к применению числительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств” / В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г. Воронин. – К.: КПИ, 1990. – 39 с.

14. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на жесткость валов механических перемешивающих устройств : Методические указания к применению вычислительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств” / В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г. Воронин . – К.: КПИ, 1989. – 60 с.

15. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на прочность валов механических перемешивающих устройств: Методические указания к применению числительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств” / В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г. Воронин. – К.: КПИ, 1990. – 39 с.

16. РД 26-01-90-85 Механические перемешивающие устройства. Метод расчета

17. Дытнерский Ю.И.. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Ю.И. Дытнерский, 2–е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

18. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологи/ Иоффе И.Л. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.

19. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник / А.К. Горошкин – М.: Машиностроение, 1979. – 383 с.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		161

20. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1 и 2 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985-1986. - 823 с.

21. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник / А.К. Горошкин – М.: Машиностроение, 1979. – 383 с.

22. Расчет режимов резания. Учебное пособие / Безъязычный В. Ф.,Аверьянов И. Н., Кордюков А. В. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.

23. Охрана труда и производственная безопасность: Учебно-методическое пособие / А.А. Раздорожный, – М.: Экзамен, 2005. – 512 с.

24. Тананайко Ю. М. Методика расчета и исследовани плёночных процессов/ Тананайко Ю.М., Воронцов Е.Г. –К.:КПИ. 1975. – 38с.

25. ГОСТ 11987-81 Аппараты выпарные трубчатые стальные. Типы, основные параметры и размеры

26. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

27. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

28. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		162

29. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

30. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

31. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

32. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : [http://futurolog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

33. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : [http://futurolog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

34. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. /

[уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу :  
<http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

35. Patent № US9815039 B2, Int. cl. B01F7/00; B01F7/04; B01F15/06; C12M1/06; C12M1/107; C05F17/02; Bioreactor / Thomas Schlüter (Weil im Schönbuch, DE), Uwe Heitland (Bad Oeynhausen, DE); Application Number: 12/518046; Publication Date: 11/14/2017.

36. Patent № US2015/0048012 A1, Int. cl. C02F3/00; C02F3/30; Bioreactor / Kiyoharu Fujino (Mie, JP); Application Number: 14/383524; Publication Date: 02/19/2015.

37. Патент № 118704 (UA), МПК C12M 1/04 (2006.01); Ферментер з вібраційним перемішуючим пристроєм/ Кутовий М.Г.; Поводзинський В.М.; Шибецький В.Ю.; Костик С.І. (UA); Заявка № u 2017 01271, 13.02.2017; Опубл. 28.08.2017; Бюл. № 16.

38. Патент № 114227 (UA), МПК C12M 1/10 (2006.01), B01F 7/00; Ферментер з багатоваловим перемішуючим пристроєм / Закоморний Д.М.; Поводзинський В.М.; Шибецький В.Ю. (UA); Заявка № u 2016 04358, 10.03.2017; Опубл. 10.03.2017; Бюл. № 5.

39. Патент № 123517 (UA), МПК B01F 7/18 (2006.01); Лопатєва мішалка / Жиленков О.О.; Білецький В.С. (UA); Заявка № u 2017 10163, 26.02.2018; Опубл. 26.02.2018; Бюл. № 4.

40. Patent № US10035077 B2, Int. cl. B01D1/06; B01D1/30; F28B1/02; Falling film evaporator / Arvi Artamo (Espoo, FI); Pentti Juhola (Espoo, FI); Application Number: 13/822924; Publication Date: 07/31/2018.

41. Patent № US2011/0226606 A1, Int. cl. B01D1/22; Falling film evaporator / Xiaogen Feng (Hangzhou City, CN); Nongyue Wang (Hangzhou City, CN); Xiaohui Mao (Lanxi City, CN); Ruibiao YU (Hangzhou City, CN); Qianwen Cheng (Shanghai, CN); Application Number: 12/900459; Publication Date: 09/22/2011.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						164
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

42. Патент № 91961 (UA), C13B 25/00; B01D 1/00 (2014.01); Випарний апарат/ Національний університет харчових технологій (UA); Заявка № у 2014 01366, 25.07.2014; Опубл. 25.07.2014; Бюл. № 4.

43. Патент № 89810 (UA), B01D 1/04 (2006.01); Випарний апарат з горизонтальними трубками / Лялька Г.О.; Лялька М.О. (UA); Заявка № у 2013 15303, 26.12.2013; Опубл. 25.04.2014; Бюл. № 8.

44. Патент № 107787 (UA), B01D 1/22 (2006.01); Випарний апарат / Бишко М.А.; Дахненко В.Л. (UA); Заявка № у 2015 11883, 01.12.2015; Опубл. 24.06.2016; Бюл. № 12.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						165
Змн.	Арк.	№ докум.	Піппис	Лат		

**Додаток А**

**Технологія виготовлення втулки конусної муфти ферментера**

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						166
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппс	Лат		

## Додаток А

### Технологія виготовлення втулки конусної муфти ферментерв

#### Вступ

Метою розділу є розробка технологічного процесу виготовлення деталі – втулки конусної і проектування пристрою для одної з операцій виготовлення деталі, а саме для свердління шести отворів діаметром 16 мм.

В процесі виконання роботи вирішуються наступні завдання:

розробка технології виготовлення деталі „втулка конусна”, в яку входить вибір методу отримання заготовки і розрахунок припусків, вибір устаткування та інструментів для кожної операції; проектування верстатного пристрою – кондуктора для свердління отворів [19].

#### А.1 Аналіз технологічності конструкції деталі

Матеріал деталі (Сталь 30Г ГОСТ 19281-89) має достатню пластичність для обробки тиском. Конструкція деталі дозволяє отримати штамп простої форми, з застосуванням високопродуктивного обладнання. Заготовка за формою та розмірами близька до форми та розмірів готової деталі, а це є ознакою технологічності.

Погіршує технологічність штамповки необхідність додаткового переходу – прошивки отворів.

Матеріал деталі добре піддається різанню з використанням стандартних ріжучих матеріалів (твердий сплав, швидкоріжуча сталь). Всі поверхні деталі доступні для ріжучого інструменту. Ступені поверхонь

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		167

обертання зменшуються в одному напрямку – це теж відповідає умовам технологічності.

В більшості деталей складається з уніфікованих конструкційних елементів оптимального ступеню точності та шорсткості поверхні, що дозволяє використовувати високопродуктивне обладнання та стандартну оснастку при зручних технологічних базах, що забезпечують задану точність виготовлення фланця.

Усі технологічні вимоги встановлені в залежності від службового призначення виробу та визначаються ступенем точності деталі.

В цілому деталь технологічна.

## **A.2 Вибір виду заготовки та обґрунтування способу її виконання**

Матеріал деталі не має ливарних властивостей, тому заготовку отримуємо обробкою тиском. Деталь має форму диску урахуванням дрібно-серійного типу виробництва обираю заготовку .

Отвір в середині прошиваємо на КГШП з жорстким фіксованим ходом, що забезпечує цілком певне положення повзуна; обладнаний нижнім та верхнім виштовхувачем; також допускається ексцентричне розташування у штампі.

Прокат вибираємо гарячекатаний (для обмеження окалиноутворення) у закритих штампах (матеріал деталі – сталь, має знижену пластичність) з нероз’ємною матрицею.

Заготовку потім обробляємо на обрізному пресі, при цьому прошивається центральний отвір.

При штампуванні на КГШП отримують заготовки з меншими припусками та нахилами, більш близькими за формою до готової деталі, з меншими значеннями зсуву половин штампу, ніж при штампуванні молотами.

Ескіз заготовки фланця показано на рисунку A.1.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		168



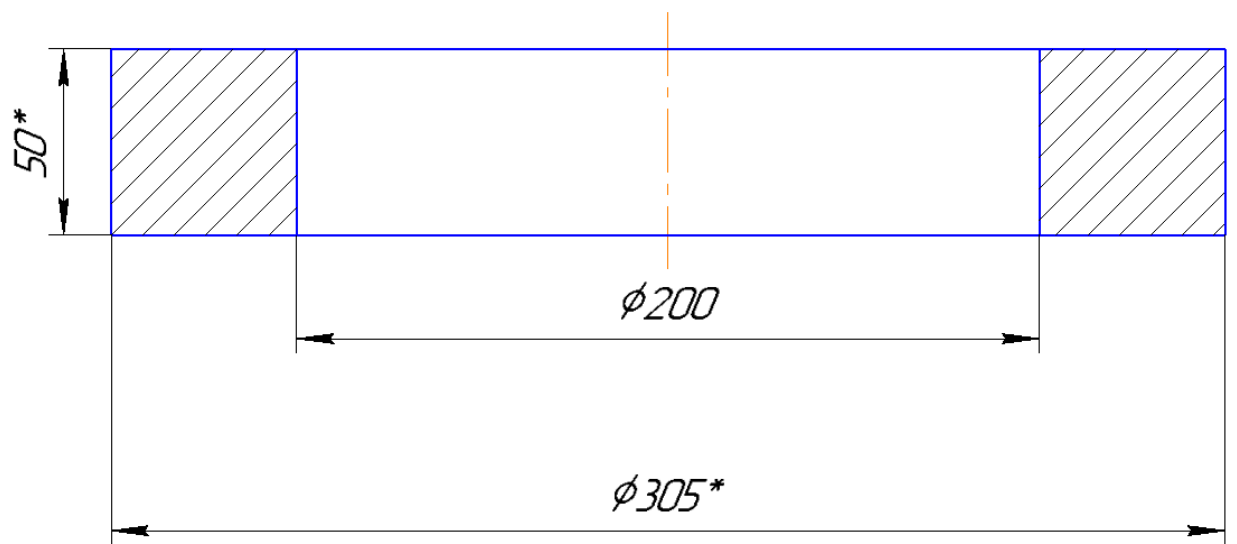


Рисунок А.1 - Ескіз заготовки

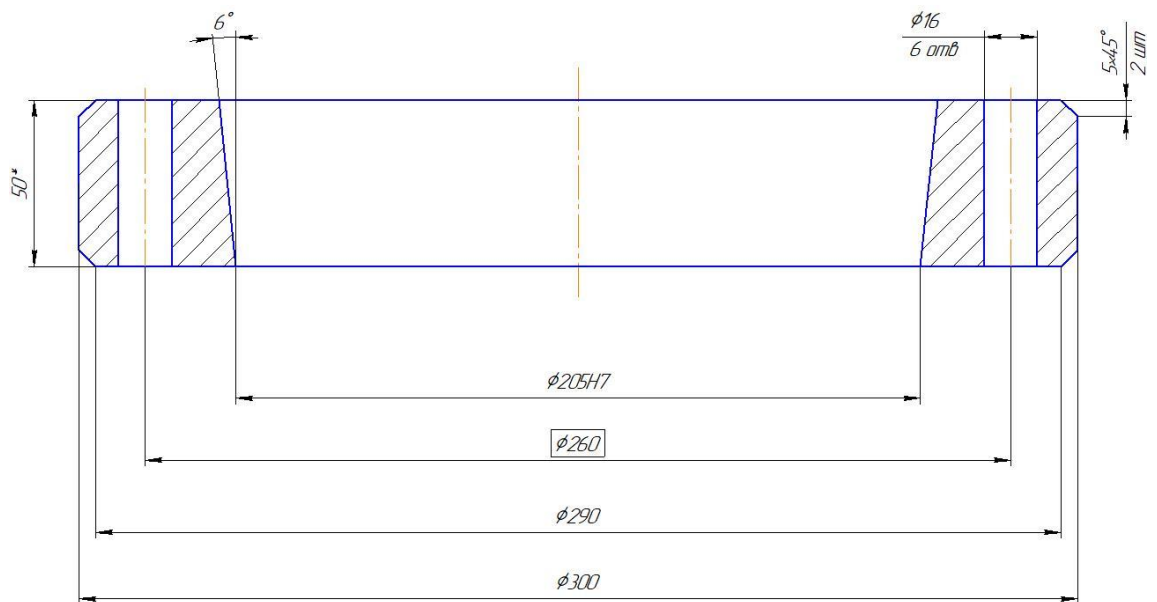


Рисунок А.2 - Ескіз деталі

### А.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

#### А.3.1 Визначення припусків і розмірів заготовки з допусками

Маса деталі:

$$q_{\text{дет}} = V_{\text{ф}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 1823655,27 \cdot 10^{-9} \cdot 7850 = 14,32 \text{ кг}$$

Маса заготовки:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		169

$$q_{\text{заг}} = V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 2930000 \cdot 10^{-9} \cdot 7850 = 23,00 \text{ кг}$$

Клас точності штамповки Т3 за ГОСТ 7505–89 (таблиця А.1.).

Об'єм заготовки очікуваний:

$$V_{\text{п}} = V_1 - V_2 = a^2 \cdot l - \frac{\pi \cdot D^2 \cdot l}{4} = 300^2 \cdot 50 - \frac{3,14 \cdot 200^2 \cdot 50}{4} = 2930000 \text{ мм}^3.$$

Об'єм простої описаної фігури (фаски і конусність не враховуємо):

$$V_{\text{ф}} = \frac{\pi \cdot D_1^2 \cdot l}{4} - 8 \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2 \cdot l}{4} - \frac{\pi \cdot D_3^2 \cdot l}{4} =$$

$$= \frac{\pi \cdot 300^2 \cdot 50}{4} - 6 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2 \cdot 50}{4} - \frac{\pi \cdot 205^2 \cdot 50}{4} = 1823655,27 \text{ мм}^3.$$

$$\text{Відношення } \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ф}}} = \frac{2109843,75}{1823655,27} = 1,558$$

Ступінь складності – С1 за ГОСТ 7505–89.

Вихідний індекс – 12 за ГОСТ 7505–89 (таблиця 2).

Основні та додаткові припуски та допуски назначаємо згідно ГОСТ 7505–89 (таблиця 3.4.5.8).

Таблиця А.1- Розміри заготовки з допуском

Оброблювана поверхня	Шорсткість Ra, мм	Припуск на розмір, мм	Розмір заготовки, мм		Відхилення розмірів, мм
			Розрахунковий	Прийнятий	
Ø 300	12,5	2,5 · (1,7+1,0)	Ø 305,4	Ø 305	0/+2,1
Ø 205	1,6	2 · (1,7+1,0)	Ø 199,4	Ø 200	+1,8/ -1,0
Ø 260	12,5	2 · (1,5+1,0)	Ø 265	Ø 265	+2,1 / 0
Ø 16	12,5	2 · (1,6+1,0)	Ø 10,8	Ø 10	+0,6 / 0
Лінійні розміри					
50	12,5	2 · (1,3+1,0)	54,6	55	+1,4 / -0,7
5x45	12,5	2 · (1,3+1,0)	44,6	47	+1,4 / -0,7

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		170

### А.3.1.1 Розрахунок припусків аналітичним методом на обробку отвору Ø 205Н7

1 перехід – чорнове розточування Н7, Ra 12,5

2 перехід – чистове розточування h12, Ra 1,6

3 перехід – шліфування h5,0, Ra 1,6

Мінімальний припуск визначаємо згідно формули:

$$2S_{\min} = 2 \cdot [(R_Z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \xi_i^2}].$$

Мінімальний припуск на чорнове точіння:

$$\begin{aligned} 2 \cdot Z_{2\min} &= 2 \cdot (R_{Z1} + h_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \xi_2^2}) = \\ &= 2 \cdot (400 + 100 + \sqrt{(313,837)^2 + 500^2}) = 2180,667 \text{ мкм}, \end{aligned}$$

де величини  $R_{Z1}$  - шорсткість та  $h$  – товщину дефектного шару назначаємо згідно таблиць. Для штампованої заготовки  $R_{Z1}=400$  мкм,  $h_1=100$  мкм.

Сумарне відхилення для заготовки:

$$\Delta_1 = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{екс}}^2 + \Delta_{\Pi}^2} = \sqrt{295,413^2 + 100^2 + 35^2} = 313,837 \text{ мкм},$$

де  $\Delta_{\text{кор}} = 295,413$  мкм – короблення поверхні отвору заготовки;

$\Delta_{\text{екс}} = 150$  мкм – відхилення від концентричності отвору;

$\Delta_{\Pi} = 35$  мкм – відхилення від перпендикулярності.

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{кор}} &= \sqrt{(\Delta_K \cdot e)^2 + (\Delta_K \cdot D)^2} = \Delta_K \cdot \sqrt{l^2 + D^2} = \\ &= 1,4 \cdot \sqrt{50^2 + 205^2} = 295,413 \text{ мкм}, \end{aligned}$$

де  $l=50$  мм – довжина отвору згідно з кресленням;

$D=205$  мм – діаметр отвору згідно з кресленням;

$\Delta_K = 1,4 \frac{\text{мкм}}{\text{мм}}$  – питома кривизна,  $\Delta_{\text{екс}} = 1000$  мкм.

$$\Delta_{\Pi} = \Delta_{\text{Н}} \cdot L = 0,7 \cdot 50 = 35 \text{ мкм}.$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		171

де  $\Delta_H = 0,7 \frac{\text{МКМ}}{\text{мм}}$  – питоме відхилення.

Похибка закріплення заготовки для чорнового точіння в трьохкулачковому патроні з базуванням на поверхні штамповки:

$$\xi_2 = 500 \text{ мкм}.$$

Мінімальний припуск на чистове точіння:

$$\begin{aligned} 2 \cdot Z_{3\min} &= 2 \cdot (R_{Z2} + h_2 + \sqrt{\Delta_2^2 + \xi_3^2}) = \\ &= 2 \cdot (35 + 100 + \sqrt{18,83^2 + 200^2}) = 671,769 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

Відхилення після чорнового точіння:

$$\Delta_2 = k_{y2} \cdot \Delta_1 = 0,06 \cdot 313,837 = 18,83 \text{ мкм},$$

де  $k_0 = 0,06$  – поправочний коефіцієнт.

Розміри отвору після чистового точіння:

$$d_{P\min} = d_H + EI = 205 + 0 = 205 \text{ мм},$$

$$d_{P\max} = d_H + ES = 205 + 0,046 = 205,046 \text{ мм}.$$

Похибка закріплення для чистового точіння -  $\xi_3 = 0$ .

Розрахунковий розмір для чорнового точіння:

$$D_{P2\max} = D_{P3\max} - 2Z_{3\min} = 205,046 - 0,672 = 204,373 \text{ мм}.$$

Для заготовки:

$$D_{P1\max} = D_{P2\max} - 2Z_{2\min} = 204,373 - 2,181 = 202,193 \text{ мм}.$$

Допуск на обробку заготовки

Для деталі:  $TD_2 = 0,046 \text{ мм} = 46 \text{ мкм}$  (H7).

Для чорнового точіння:  $TD_1 = 0,72 \text{ мм} = 720 \text{ мкм}$  (H13).

Заготовки:  $TD_{заг} = 2,100 \text{ мм} = 2100 \text{ мкм}$ .

Розрахунковий мінімальний розмір визначаємо різницею максимального розрахункового розміру та величини допуску:

$$D_{P1\min} = D_{P1\max} - TD_{заг} = 202,193 - 2,100 = 200,093 \text{ мм},$$

$$D_{P2\min} = D_{P2\max} - TD_1 = 204,373 - 0,720 = 203,653 \text{ мм}.$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		172

Мінімальний гарантований розмір:

$$D_{1\max} = D_{1\min} + TD_1 = 203,653 + 0,72 = 204,373 \text{ мм},$$

$$D_{2\max} = D_{2\min} + TD_2 = 205 + 0,046 = 205,046 \text{ мм},$$

Мінімальне та максимальне значення припусків:

$$2Z_{2\max} = D_{2\max} - D_{1\min} = 205,046 - 203,653 = 1393 \text{ мкм},$$

$$2Z_{2\min} = D_{2\min} - D_{1\max} = 205 - 204,373 = 627 \text{ мкм},$$

$$2Z_{1\max} = D_{1\max} - D_{\text{заг.}\min} = 204,373 - 200 = 4373 \text{ мкм},$$

$$2Z_{1\min} = D_{1\min} - D_{\text{заг.}\max} = 203,653 - 202,193 = 1460 \text{ мкм}.$$

Номінальний розмір заготовки:

$$D_{\text{Н1}} = D_{1\min} - EI = 203,653 - 3,653 = 200 \text{ мм},$$

$$2Z_{\text{ОН}} = D_{\text{НО}} - D_{\text{Н1}} = 205 - 200 = 5,000 \text{ мм}.$$

Схема розташування розрахованих припусків та допусків представлена на рисунку А.3.

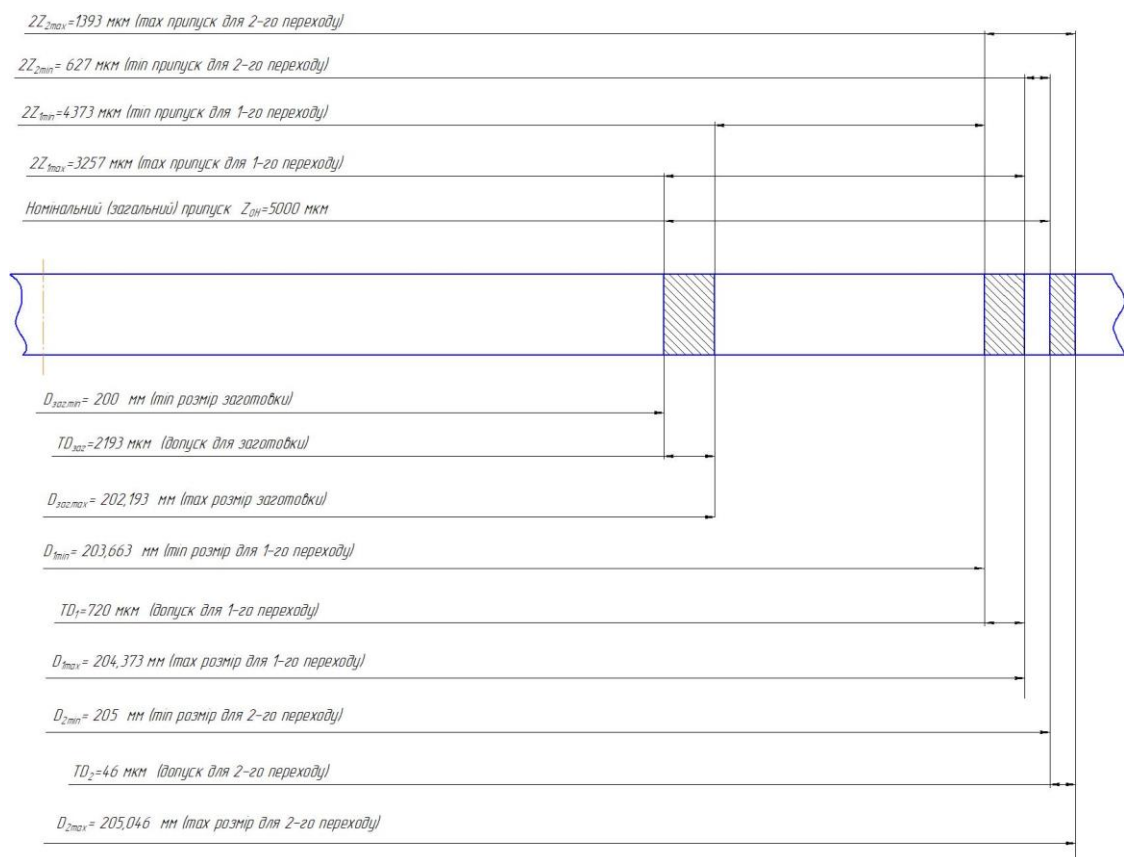


Рисунок А.3-Схема графічного розташування припусків та допусків на обробку отвору Ø 205H7

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		173

Перевірка:

$$TD_{\text{заг}} - TD_2 = 2100 - 46 = \sum 2 \cdot Z_{\text{max}} - \sum 2 \cdot Z_{\text{min}} = 5766 - 2087 = 2054 \text{ мкм}$$

Визначення припусків та граничних відхилень виконано вірно.

### А.3.1.2 Визначення операційних припусків табличним методом

Припуски визначаємо за довідником в зворотному порядку послідовності обробки [20].

Таблиця А.2 Припуски та розміри

Поверхня, що оброблюється	Метод обробки	Квалітет точності	Шорсткість, Ra	Припуск на різку, мм	Операційні розміри та допуски, мм
Отвір Ø 205 мм	Чистове точіння	H7	12,5	1,25	Ø 205 <sup>+0,046</sup>
	Чорнове точіння	H13	12,5	6,75	Ø 203,54 <sup>+0,72</sup>
	Заготовка	T3	50	—	Ø 200 <sup>+2,1</sup>

Решту поверхонь оброблюємо за один прохід, при цьому операційні припуски відповідають загальному припуску, а операційні розміри — кресленню.

### А.3.2 Розрахунок режимів різання на обробку отвору Ø 205H7 та валу Ø200h12

1) Розточити вал Ø305 до Ø300<sup>0,052</sup> (чорнове точіння).

Глибина різання:  $t_{\text{чорн}} = 1,4 \text{ мм}$ , подача  $s_{\text{чорн}} = 0,63 \text{ мм/об}$  [22].

Період стійкості різця з врахуванням напівавтоматичного режиму різання станка приймаємо підвищену:  $T = 60$  хвилин.

Швидкість різання:

$$V_{\text{чорн}} = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 1,4^{0,15} \cdot 0,63^{0,2}} \cdot 0,42 = 67,59 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де  $C_V = 350$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,2$ ,  $m = 0,2$ .

Коефіцієнт швидкості розраховується за формулою [22]:

$$K_V = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi} \cdot K_r = 1,0 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 0,42,$$

де  $K_{mv} = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що оброблюється;

$K_{nv} = 0,65$  – коефіцієнт, який враховує стан обробленої поверхні;

$K_{uv} = 0,7$  – коефіцієнт, який враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

$K_{\phi} = 0,97$  – коефіцієнт, який враховує кут у плані;

$K_r = 0,94$  – коефіцієнт, який враховує радіус ріжучої кромки інструменту.

Частота обертання:

$$n_{\text{чорн}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 67,59}{3,14 \cdot 300} = 71,752 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

Кінцеве значення, яке приймаємо:

$$n_{\text{чорн}} = 80 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

тоді

$$V_{\text{чорн}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 300 \cdot 80}{1000} = 75,36 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						175
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Хвилинна подача:

$$S_{xв} = S \cdot n = 0,63 \cdot 80 = 50,4 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}.$$

Сила різання:

$$P_{Z_{\text{чорн}}} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1,4^1 \cdot 0,63^{0,75} \cdot 75,36^{-0,15} \cdot 0,75 = 1164,78 \text{ Н},$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$ .

Коефіцієнт  $K_p$  являє собою множення ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p} = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75,$$

де  $K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p}$  – коефіцієнти, які враховують фактичні умови різання. Значення цих коефіцієнтів табличні [22].

Потужність різання:

$$N_{\text{чорн}} = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1164,78 \cdot 75,36}{1020 \cdot 60} = 1,434 \text{ кВт}.$$

2) Розточити отвір  $\varnothing 200$  до  $\varnothing 203,54^{0,72}$  (чорнове точіння).

Глибина різання:  $t_{\text{чорн}} = 1,4 \text{ мм}$ , подача  $s_{\text{чорн}} = 0,63 \text{ мм/об}$  [22].

Період стійкості різця з врахуванням напіваавтоматичного режиму різання станка приймаємо підвищену:  $T = 60$  хвилин.

Швидкість різання:

$$V_{\text{чорн}} = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 1,4^{0,15} \cdot 0,63^{0,2}} \cdot 0,42 = 67,59 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де  $C_V = 350$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,2$ ,  $m = 0,2$ .

Коефіцієнт швидкості розраховується за формулою [22]:

$$K_V = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi} \cdot K_r = 1,0 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 0,42,$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
						176
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



де  $K_{mv} = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що оброблюється;

$K_{nv} = 0,65$  – коефіцієнт, який враховує стан обробленої поверхні;

$K_{uv} = 0,7$  – коефіцієнт, який враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

$K_{\varphi} = 0,97$  – коефіцієнт, який враховує кут у плані;

$K_r = 0,94$  – коефіцієнт, який враховує радіус ріжучої кромки інструменту.

Частота обертання:

$$n_{\text{чорн}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 67,59}{3,14 \cdot 203,54} = 105,755 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

Кінцеве значення, яке приймаємо:

$$n_{\text{чорн}} = 110 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

тоді

$$V_{\text{чорн}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{ф}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 203,54 \cdot 110}{1000} = 70,3 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Хвилинна подача:

$$S_{\text{хв}} = S \cdot n = 0,63 \cdot 110 = 69,3 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}.$$

Сила різання:

$$P_{Z\text{чорн}} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1,4^1 \cdot 0,63^{0,75} \cdot 70,3^{-0,15} \cdot 0,75 = 1176,98 \text{ Н},$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$ .

Коефіцієнт  $K_p$  являє собою множення ряду коефіцієнтів:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						177
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$$K_P = K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p} = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75,$$

де  $K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p}$  – коефіцієнти, які враховують фактичні умови різання. Значення цих коефіцієнтів табличні [22].

Потужність різання:

$$N_{чорн} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1176,98 \cdot 70,3}{1020 \cdot 60} = 1,352 \text{ кВт.}$$

3) Розточити отвір  $\varnothing 205$  до  $\varnothing 205,0^{0,046}$  (чистове точіння).

Глибина різання:  $t_{чист} = 0,8$  мм , подача  $s_{чист} = 0,25$  мм/об [22].

Період стійкості різця з врахуванням напівавтоматичного режиму різання станка приймаємо підвищену:  $T = 60$  хвилин.

Швидкість різання:

$$V_{чист} = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 0,8^{0,15} \cdot 0,25^{0,2}} \cdot 0,42 = 106,13 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де  $C_v = 420$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,2$ ,  $m = 0,2$ .

Коефіцієнт швидкості розраховується за формулою [22]:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi} \cdot K_r = 1,0 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 0,42,$$

де  $K_{mv} = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що оброблюється;

$K_{nv} = 0,65$  – коефіцієнт, який враховує стан обробленої поверхні;

$K_{uv} = 0,7$  – коефіцієнт, який враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

$K_{\phi} = 0,97$  – коефіцієнт, який враховує кут у плані;

$K_r = 0,94$  – коефіцієнт, який враховує радіус ріжучої кромки інструменту.

Частота обертання:

$$n_{\text{чист}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 106,13}{3,14 \cdot 205} = 164,88 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

Кінцеве значення, яке приймаємо:

$$n_{\text{чист}} = 170 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

тоді

$$V_{\text{чист}} = \frac{3,14 \cdot 205 \cdot 170}{1000} = 109,48 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Хвилинна подача:

$$S_{\text{м}} = S \cdot n = 0,6 \cdot 170 = 102 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}.$$

Сила різання:

$$P_{Z_{\text{чист}}} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 0,8^1 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 109,48^{-0,15} \cdot 0,75 = 314,65 \text{ Н},$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$ .

Коефіцієнт  $K_p$  являє собою множення ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p} = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75,$$

де  $K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p}$  – коефіцієнти, які враховують фактичні умови різання. Значення цих коефіцієнтів табличні [22].

Потужність різання:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
						179
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$$N_{\text{числ}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{314,65 \cdot 109,48}{1020 \cdot 60} = 5,63 \text{ кВт.}$$

4) Зняти фаски 5x45 на валу Ø300.

Глибина різання:  $t = 1,4 \text{ мм}$ , подача  $s = 0,1 \text{ мм/об}$  [22].

Період стійкості різця з врахуванням напівавтоматичного режиму різання станка приймаємо підвищену:  $T = 60 \text{ хвилин}$ .

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 1,4^{0,15} \cdot 0,1^{0,2}} \cdot 0,42 = 232,55 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де  $C_v = 350$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,2$ ,  $m = 0,2$ .

Коефіцієнт швидкості розраховується за формулою [22]:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi} \cdot K_r = 1,0 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 0,42,$$

де  $K_{mv} = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що оброблюється;

$K_{nv} = 0,65$  – коефіцієнт, який враховує стан обробленої поверхні;

$K_{uv} = 0,7$  – коефіцієнт, який враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

$K_{\phi} = 0,97$  – коефіцієнт, який враховує кут у плані;

$K_r = 0,94$  – коефіцієнт, який враховує радіус ріжучої кромки інструменту.

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 232,55}{3,14 \cdot 300} = 246,87 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

Кінцеве значення, яке приймаємо:

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		180

$$n = 250 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

тоді

$$V = \frac{3,14 \cdot 300 \cdot 250}{1000} = 235,5 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Хвилинна подача:

$$S_{\text{м}} = S \cdot n = 0,1 \cdot 250 = 25 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}.$$

Сила різання:

$$P_Z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1,4^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 235,5^{-0,15} \cdot 0,75 = 246,89 \text{ Н},$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$ .

Коефіцієнт  $K_p$  являє собою множення ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p} = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75,$$

де  $K_{M_p} \cdot K_{\phi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p}$  – коефіцієнти, які враховують фактичні умови різання. Значення цих коефіцієнтів табличні [22].

Потужність різання:

$$N_{\text{чист}} = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{246,89 \cdot 235,5}{1020 \cdot 60} = 0,95 \text{ кВт}.$$

### А.3.3 Розрахунок режимів різання при розсвердлюванні отворів Ø 16

Матеріал який оброблюється – сталь 30Г.

Глибина різання:

$$t = 0,5(D - d) = 0,5 \cdot (16 - 10) = 3 \text{ мм},$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		181

де  $D=16$  мм – діаметр отвору в деталі;  $d=10$  мм – діаметр отвору в заготовці.

З подач, що рекомендуються призначаємо  $S_0=1,2$  мм/об. Приймаємо період стійкості інструмента  $T=45$  хв [22].

Швидкість різання, яка допускається періодом стійкості інструмента:

$$V_0 = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_0^y} \cdot k_v = \frac{18 \cdot 16^{0,6}}{45^{0,25} \cdot 3^0 \cdot 1,2^{0,3}} \cdot 0,65 = 10,033 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де  $C_v = 18,0$ ;  $q = 0,6$ ;  $y = 0,3$ ;  $m = 0,25$ ;  $k_v = 0,65$

Обертний момент:

$$M_{об} = 10C_M \cdot D^q \cdot t^x S^y \cdot k_p = 10 \cdot 0,09 \cdot 16^1 \cdot 3^{0,8} \cdot 1,2^{0,65} \cdot 0,68 = 26,548 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Значення коефіцієнтів та показників степеня

$$C_M = 0,09; q = 1,0; y = 0,65;$$

$k_p$  – коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки,  $k_p = 0,68$ .

Потужність різання:

$$N_c = \frac{M_{об} \cdot n}{9750} = \frac{26,548 \cdot 199,701}{9750} = 0,544 \text{ кВт};$$

де  $n$  – частота обертання заготовки:

$$n = \frac{1000 \cdot V_0}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 10,033}{3,14 \cdot 16} = 199,701 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

По станку підбираємо наближене значення  $n_\Phi = 200$  об/хв тоді фактична швидкість різання:

$$V_\Phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\Phi}{1000} = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 200}{1000} = 10,048 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

За паспортним даними, потужність станка  $N_{кр}=4,5$  кВт.

Приймаємо наступні значення:  $t = 3$  мм,  $S_0 = 1,2$  мм/об,  $n_\Phi = 200 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$

$$V_\Phi = 10,048 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, N = 0,544 \text{ кВт}.$$

$$\text{Хвилинна подача } S_{хв} = 1,2 \cdot 200 = 240 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}.$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		182

### А.3.4 Розрахунок норми часу на розсвердління отворів Ø 16

Штучно – калькуляційний (основний) час на свердління:

$$T_0 = \frac{l + l_{BP} + l_{ПЕР}}{S_{XB}} = \frac{50 + 2,6 + 0}{240} = 0,219 \text{ хв.}$$

де  $l = 50$  мм – довжина поверхні, яка оброблюється;

$l_{BP} = 2,6$  мм – довжина врізання;

$l_{ПЕР} = 0$  – довжина перебігу інструменту.

Норми допоміжного часу визначені з довідників або за нормативами і зведені в таблицю А.3.

Таблиця А.3 Норми допоміжного часу.

№ /п	Найменування дії оператора	Норма часу
1	Очистити пристрій від стружки	0,1
2	Встановити та зняти заготовку	0,4
3	Закріпити та відкріпити заготовку	0,1
Всього		0,6

Для одного отвору:  $T_{ц.к.} = 0,219 + 0,6 = 0,819$  хв.

Для 6 отворів:  $T = 0,819 \cdot 6 = 4,914$  хв.

### А.4 Опис конструкції та розрахунок пристрою

Пристосування складається з наступних основних частин: основа із вбудованим пневмоциліндром, поршень, станини, пластини кондукторної плити [21].

Основа пристосування встановлюється на столі верстату з базуванням по пазам  $\psi = 30F8$  зі шпонками і закріплюється гвинтом. Пневмоциліндр вбудований

в основу з можливістю вертикального переміщення поршня зі штоком в результаті подачі стиснутого повітря в поршневий або штоковий об'єми.

Тяга згвинчена співвісно зі штоком пневмоциліндра і фіксується додатково гайкою. На основі пристосування закріплений фіксатор для забезпечення орієнтації заготовки відносно поверхонь, оброблених в попередніх операціях.

Пристосування працює таким чином:

Встановлюють заготовку на станину, зверху встановивши притискну втулку та фіксують тягою. Вмикають подачу стиснутого повітря в штоковий об'єм пневмоциліндра, діаграма переміщується і закріплює заготовку до станини. Після обробки стиснуте повітря подається в поршневий об'єм пневмоциліндра, поршень переміщується. Скидаємо тягу, притискну втулку, а потім знімаємо деталь.

Схема сил, діючих у пристрої, показана на рисунку А.3.

Сила зсування, яка викликається обертанням інструмента

$$F_3 = \frac{M_{об}}{R} = \frac{26,548}{0,093} = 285,376 \text{ Н},$$

де  $R=0,093$  мм – радіус прикладання сили зсування.

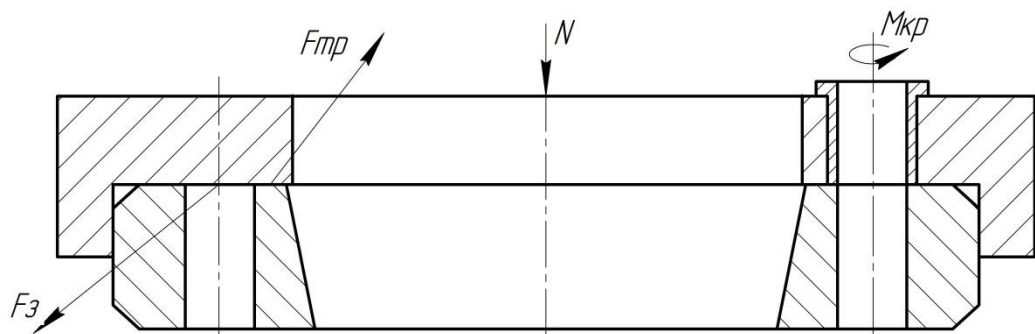


Рисунок А.3-Схема навантажень при закріпленні фланця

Сила притискання, яка забезпечить нерухомість закріплюваної деталі:

$$N = \frac{F_{п}}{f} = \frac{322,935}{0,25} = 1291,74 \text{ Н}.$$

Необхідний тиск в робочій камері пристрою

$$P = \frac{N}{S_{д} \cdot \eta} = \frac{1291,74}{0,05065 \cdot 0,85} = 3,0004 \cdot 10^4 \text{ Па} = 0,030004 \text{ МПа}.$$



Приймаємо  $P=0,04$  МПа.

Отже, значення тиску, який необхідний для надійного закріплення деталі у кондукторному пристрої повинен бути більшим або рівним  $P=0,04$  МПа.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						185
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		

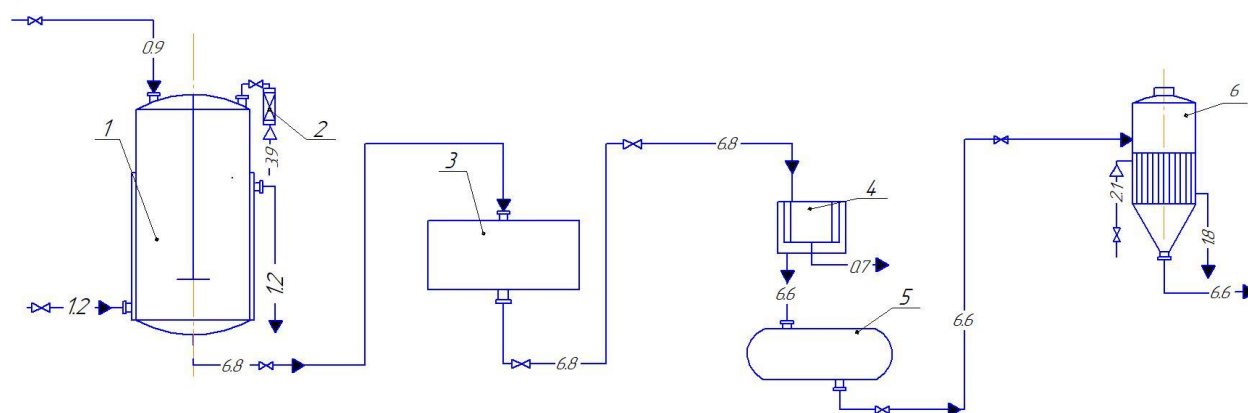
**ДОДАТОК Б**  
**Автоматичний контроль і керування процесом**

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						186
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппс	Лат		

## Автоматичний контроль і керування процесом

### Б.1 Опис технологічного процесу, як процесу автоматизації

Технологічна схема лінії виробництва зображена на рисунку Б.1. Сировина – поживне середовище потрапляє до ферментера 1 де відбувається синтез глутамінової кислоти. Через індивідуальний повітряний фільтр 2 до ферментера 1 потрапляє очищене повітря. Після цього маса потрапляє до збірника культивованої рідини 3, від якого надходить до центрифуги 4 в якій рідина відділяється від біомаси. Наступним кроком є випарювання продукту у випарному апараті 6 до якого рідина подається з збірника фільтрату 7. Параметри процесу наведені в таблиці Б.1.



1 – ферментер; 2 – індивідуальний повітряний фільтр; 3 – збірник  
культивованої рідини; 4 – центрифуга; 5 – збірник фільтрату;  
6 – випарний апарат

Рисунок Б.1 – Технологічна схема лінії виробництва глутамінової кислоти

Таблиця Б.1 – Параметри основного технологічного режиму

Назва параметру	Кон тро ль	Регу люва ння	Сигнал ізація та захист	Дист. керуван ня
Значення-рН у ферментері 1 та випарному апараті 6	+	+	+	+
Рівень суспензії у ферментері 1, в збірниках культивованої рідини 3 та фільтрату 5	+	+	+	+
Температура у ферментері 1 Т = 30 °С	+	+	+	+
Температура у випарному апараті 6 Т = 40 °С	+	+	+	+
Витрати повітря, які потрапляють до ферментера 1	+	+	-	-
Витрати середовища, які потрапляють до ферментера 1 та випарного апарату 6	+	+	-	-
Потужність приводів	-	-	-	+
Тиск у ферментері Р = 0,1МПа	+	-	+	-
Тиск у випарному апараті	+	-	+	-

## Б.2 Основні рішення з автоматизації

### Б.2.1 Системи контролю

Функціональна схема автоматизації лінії виробництва глютамінової кислоти включає в себе системи контролю якості, витрат та температури [3, 4].

Для контролю процесів, які відбуваються в ферментері 1 використовуємо такі технічні засоби, як:

Позиція 1-1 – термоелектричний перетворювач.

Позиції: 2-1 – рН-метр магістрального виконання.

Позиція: 3-1 – перетворювач гідростатичного рівня з роздільною мембраною.

Для контролю процесів, які відбуваються в випарному апараті використовуємо такі технічні засоби, як:

Позиція 9-1 – термоелектричний перетворювач.

Позиції: 10-1 – рН-метра магістрального виконання.

Для контролю витрат на трубопроводах використовуємо такі технічні засоби:

Позиція 4-1, 7-1, 14-1, 15-1 – ротаметр електричний, з якого сигнал надходить до показувального і реєструвального приладу з квадратичною характеристикою шкали та вмонтованим інтегруючим пристроєм (поз. 4-2, 7-2, 14-2, 15-2). Далі сигнал йде до мікропроцесорного регулятора (поз. 4-3, 7-3, 14-3, 15-3), що направляє сигнал до пускача магнітного, безконтактного, реверсивного (поз. 4-4, 7-4, 14-4, 15-4), який призводить до руху електричний виконавчий механізм однообертовий (поз. 4-5, 7-5, 14-5, 15-5).

Мікроконтролер «Реміонт р-130 М» виконує такі функції контролю як вимірювання, індикація і реєстрація.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
						189
Змн.	Анк.	№ докв.	Піліпис	Лат		

## Б.2.2 Автоматичне регулювання

Функціональна схема автоматизації лінії виробництва глютамінової кислоти включає в себе автоматичне керування значень - рН, витрат та температури [3, 4].

Для регулювання та керування процесом, який виконується в ферментері 1 використовуємо такі технічні засоби, як:

Коли рівень рідини у ферментері 1 набуває достатнього, реагують позиції 3-1- рівнеміри ультразвукові з електромеханічним перетворювачем, в яких сигнал перетворюється, реєструється, архівується спрацьовує захист і сигнал звідти йде на регулюючі прилади 3-4.

Позиції 2-1 – рН-метр магістрального виконання. З якого сигнал надходить до перетворювача високоомного (поз. 2-2), далі сигнал надходить до показувального і реєструвального приладу (поз. 2-3). Так само значення –рН регулюється на випарному апараті контур 10.

Для регулювання та керування процесом, який виконується в випарному апараті 6, використовуються такі технічні засоби, як:

Позиція 9-1 – термоелектричний перетворювач, з якого сигнал надходить до вторинного-показуючого і реєструючого приладу (поз. 9-2). Далі перетворений у пневматичний сигнал йде до пневматичної панелі керування (поз. 9-3), що призводить до руху пневмодвигуна поворотного (поз. 9-4). Контролювання контура 1 у ферментері 1 проводиться так само.

## Б.2.3 Технологічна сигналізація та захист

Технологічна сигналізація у процесі виробництва глютамінової кислоти встановлена на контроль параметрів: концентрація та рівень суспензії в ферментері 1, концентрація в випарному апараті 6, температура в ферментері 1 та випарному апараті 6, рівень суспензії в збірниках 3 та 5.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		190

Сигналізація спрацьовує при досягненні максимального чи мінімального значення контрольованого параметра (температура в ферментері 1). Замкнеться контакт в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту. Реле спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт (нормально замкнений) розмикається і гасне лампочка, а контакт (нормально розімкнутий) замикається і загорається лампочка. Після того, як температура унормується, контакт в приладі розмикається, ланцюг живлення електромагніту розривається. Реле спрацьовує і контакти перемикаються назад. Припиняє світитися лампочка.

На схемі не показано сигналізації. Всі ланцюги сигналізації побудовані за типовим варіантом.

Захист або ж блокування може спрацьовувати в декількох випадках:

1. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насосів.
2. Концентрація сировини, яка потрапляє до ферментера 1 недостатня.
3. Рівень перевищує норму.
4. Температура перевищує допустиму норму.

Захист спрацьовує, коли замикається контакт приладу при малому тиску в трубопроводі після насоса. Внаслідок замикається контакт реле 1 загорається сигнальна лампочка, далі замикається контакт реле 2 і загорається лампочка, які означають, що впав тиск і спрацювало реле 1 і 2. В схемі включення-виключення електромоторів розмикаються контакти реле 2, а контакти реле 1 відключають регулятори від клапанів. Перемикаючись, контакти реле 1 відключають регулятор від клапана і підключають його до опору навантаження для того щоб не збилися настройки, і регулятор буде формувати сигнал розузгодження далі. А клапани нормально закриті – закриваються.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
						191
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

#### Б.2.4 Дистанційне керування виконавчими механізмами

При роботі відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього крильчатка зупиняється і зупиняється електродвигун, який може вийти з ладу. У цьому випадку (у випадку аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження. Тому повинен спрацювати електричний захист [6].

Аналогічна ситуація може статися і з двигуном перемішуючого пристрою. Різкий перепад напруг або ж потрапляння на вал (мотор) чужорідних деталей може призвести до виходу з ладу двигуна.

Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу.

3-4, 4-4, 7-4, 8-4, 12-1, 13-1, 14-4, 15-4 – пускачі магнітні реверсивні. 12-2, 13-2 – кнопки запобіжного відключення. 12-3, 13-3 – кнопки керування.

#### Б.3.5 Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Перелік устаткування, приладів та матеріалів приведено в таблиці Б.2.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Анк.
						192
Змн.	Анк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



Таблиця Б.2 – Перелік устаткування, виробів та матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Кількість
1	2	3	4	5	6	7
1-1 9-1	Вимірювання температури	Ферментер Випарний апарат	(-40)- 200°C	Місцевий	Термоелектричний перетворювач, діапазон вимірювання (-40)-200°C	2
1-2 9-2	Температура	-	-	Щит	Вторинний показуючий і реєструючий прилад	2
1-3 9-3	Регулювання температури	-	-	Щит	Пневматична панель керування	2
1-4 9-4	Температура	Трубопровід	-	Місцевий	Пневмодвигун поворотний	2
4-1 7-1 14-1 15-1	Витрата	Трубопровід	1...60 кг/год	Місцевий	Ротаметр електричний	4

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4	5	6	7
4-2 7-2 14-2 15-2	Витрата	-	-	Щит	Показувальний і реєструвальний прилад з квадратичною характеристикою шкали та вмонтованим інтегрувальним пристроєм	4
4-3 7-3 14-3 15-3	Регулювання витрати	-	-	Щит	Мікропроцесорний регулятор	4
4-4 7-4 14-4 15-4	Витрата	Трубопровід	-	Місцевий	Пускач магнітний безконтактний реверсивний	4
4-5 7-5 14-5 15-5	Регулювання витрати	Трубопровід	-	Місцевий	Електричний виконавчий механізм однообертовий	4
5-1 11-1	Тиск	Ферментер Випарний апарат	0...1 МПа	Місцевий	Вимірювальний тензоперетворювач тиску	2
5-2 11-2	Тиск	-	-	Щит	Вторинний показувальний і реєструвальний прилад	2

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4	5	6	7
5-3 11-3	Тиск	-	-	Щит	Сигналізатор тиску	2
3-1 6-1 8-1	Вимірювання рівня	Ферментер Збірник культивованої рідини Збірник фільтрату	0,5...6 м	Місцевий	Перетворювач гідростатичного рівня, межі виміру: 0-10 КПа, IP65, вих. сигнал 4-20мА, живлення 24В постійного струму, з розділовою мембраною	3
3-2 6-2 8-2	Рівень	-	-	Щит	Регулюючий блок системи «Каскад»	3
3-3 6-3 8-3	Сигналізація рівня	-	-	Щит	Сигналізатор рівня, ємнісний, стержньовий чутливий елемент, живлення 24В постійного струму, релейний вихідний сигнал	3
3-4 6-4 8-4	Рівень	-	-	Місцевий	Магнітний пускач	3
3-5 6-5 8-5	Регулювання рівня	Трубопровід	-	Місцевий	Електронний виконавчий механізм	3

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4	5	6	7
2-1 10-1	Вимірювання рН	Ферментер Випарний апарат	3–6	Місцевий	Чутливий елемент рН-метра заглибного виконання з електродами скляними	2
2-2 10-2	рН	-	-	Місцевий	Перетворювач високоомний	2
12-1 13-1	-	-	-	Місцевий	Пускач магнітний безконтактний Реверсивний з реле	2
12-3 13-3	Витрата	Насос	-	Щит	Пост керування кнопкою	2
HL1 - HL19 (не парні)	-	-	-	Щит	Сигнальна лампа із зеленим індикатором, діапазон робочих температур -60...+60 °С, потужність 4,5 Вт	9
HL2 - HL20 (парні)	-	-	-	Щит	Сигнальна лампа із червоним індикатором, діапазон робочих температур -60...+60 °С, потужність 4,5 Вт	9

**Додаток В**  
**Документація до патентного дослідження**

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						197
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

## Додаток В. Регламент патентного пошуку

Регламент патентного пошуку № ЛН71мп.066715 РП

Найменування теми: Ферментер

Шифр теми: ЛН71мп.066715.001

Етап: Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:

ЛМ31.066715.001, 18.09.18

Предмет пошуку – ферментер, реактор, мішалка біореактор. (Об'єктом пошуку є винаходи і корисні моделі).

Мета пошуку інформації – визначення патентоздатності та патентної чистоти проєктованого апарату й визначення тенденцій розвитку цього напрямку в техніці.

Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, Російська Федерація, США, Швеція, Китай, Японія.

Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, проте регламент пошуку встановлюємо такий: 2011–2018 р.р.

Класифікаційні індекси:

– міжнародна патентна класифікація: : МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 - C12M1/06; C12M1/107; C05F17/02; C02F3/30; C12M1/04; C12M1/1; B01F7/18;

– уніфікована десяткова класифікація УДК 663.1

Джерела інформації:

– патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Держпатенту України, Роспатенту;

– науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічного та нафтопереробного виробництва;

– інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>, <http://www.uipv.org>, <http://uapatents.com>, [www.freepatent.ru/](http://www.freepatent.ru/), <http://www1.fips.ru/>,.

Початок пошуку 18.09.18

Закінчення пошуку 28.08.18

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						198
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

Таблиця В.1 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Ферментер, реактор, мішалка, біореактор	Визначення патентно-здатності та патентної чистоти проектного апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці.	Україна, Росія, Федерация, США, Швеція, Китай, Японія.	МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – C12M1/06; C12M1/107; C05F17/02; C02F3/30; C12M1/04; C12M1/1; B01F7/18; УДК 663.1.	2011-2018	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

Таблиця В.2 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Ферментер, реактор, мішалка, біореактор	Україна, Російська Федерація, США, Китай, Японія.	МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – С12М1/06 ; С12М1/10 7; C05F17/0 2; C02F3/30; C12M1/04 ; C12M1/1; B01F7/18; УДК 663.1.	Фонд НТУУ “КПІ” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> , <a href="http://www.uipv.org">http://www.uipv.org</a> , <a href="http://uapatents.com">http://uapatents.com</a> ,	Описи винаходів патентів України № 1–41000. Описи корисних моделей патентів України № 1–1050. Описи винаходів патентів Російської Федерації № 2000000–2140000.	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии . М.: Химия, 1971.– 785 с. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии



			www.freepatent.ru/, http://www1.fips.ru/		. М.: Химия, 1983.– 272 с.
--	--	--	---	--	-------------------------------------

Таблиця В.3 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Біореактор	Patent № US9815039 B2, Int. cl. B01F7/00; B01F7/04; B01F15/06; C12M1/06; C12M1/107; C05F17/02; Bioreactor / Thomas Schlüter (Weil im Schönbuch, DE), Uwe Heitland (Bad Oeynhausen, DE); Application Number: 12/518046; Publication Date: 11/14/2017.	Діє
Біореактор	Patent № US2015/0048012 A1, Int. cl. C02F3/00; C02F3/30; Bioreactor / Kiyoharu Fujino (Mie, JP); Application Number: 14/383524; Publication Date: 02/19/2015.	Діє
Ферментер	Патент № 118704 (UA), МПК C12M 1/04 (2006.01); Ферментер з вібраційним перемішуючим пристроєм/ Кутовий М.Г.; Поводзинський В.М.; Шибецький В.Ю.; Костик С.І. (UA); Заявка № u 2017 01271, 13.02.2017; Опубл. 28.08.2017; Бюл. № 16.	Дію патенту припинено

Ферментер	Патент № 114227 (UA), МПК C12M 1/10 (2006.01), B01F 7/00; Ферментер з багатоваловим перемішуючим пристроєм / Закоморний Д.М.; Поводзинський В.М.; Шибецький В.Ю. (UA); Заявка № у 2016 04358, 10.03.2017; Опубл. 10.03.2017; Бюл. № 5.	Дію патенту припинено
Лопатева мішалка	Патент № 123517 (UA), МПК B01F 7/18 (2006.01); Лопатева мішалка / Жиленков О.О.; Білецький В.С. (UA); Заявка № у 2017 10163, 26.02.2018; Опубл. 26.02.2018; Бюл. № 4.	Діє

Таблиця В.4 Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Ферментер	Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. /Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др/ под ред Ю. И Дытнерского.	М.: Химия, 1973.- 756 с
Ферментер	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты хим. технологии	М.: Химия, Москва 1971 – С.261

Висновок. У результаті проведеного патентного дослідження встановлено, що пропонуваний апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те, що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		202

Регламент пошуку № ЛН71мп.065347 РП

Найменування теми: Випарний апарат

Шифр теми: ЛН71мп.065347

Етап: Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:

ЛН71мп.065347, 29.09.18

Предмет пошуку – випарний апарат.

Мета пошуку інформації – визначення патентоздатності проєктованого апарату й визначення тенденцій розвитку цього напрямку в техніці.

Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, Російська Федерація, СРСР, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія.

Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 2011–2018 р.р.

Класифікаційні індекси:

– міжнародна патентна класифікація: МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – B01D1/06; B01D1/30; F28B1/02; B01D1/22; C13B 25/00; B01D 1/00; B01D 1/04.

– уніфікована десятикова класифікація УДК 661.5

Джерела інформації:

– патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Держпатенту України, Роспатенту й Госпатенту СРСР;

– науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічного та нафтопереробного виробництва.

– інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>, <http://Patents1.ic.gc.ca/intro-e.html>, <http://www.depatisnet.de/>, <http://www.swissreg.ch>

Початок пошуку 29.09.18

Закінчення пошуку 10.10.18

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						203
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

Таблиця В.5 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Випарний апарат	Визначення патентно-здатності та патентної чистоти проектного апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці.	Україна, Російська Федерація, СРСР, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія	МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – B01D1/06; B01D1/30; F28B1/02; B01D1/22; C13B 25/00; B01D 1/00; B01D 1/04 УДК 661.5.	2011-2018	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

Таблиця В.6 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Випарний апарат	Україна, Російська Федерація, СРСР, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія.	МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – B01D1/06 ; B01D1/30 ; F28B1/02; B01D1/22 ; C13B 25/00; B01D 1/00; B01D 1/04 УДК 661.5.	Фонд НТУУ “КПІ” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espace.net.com/">http://ep.espace.net.com/</a> , <a href="http://www.uipv.org">http://www.uipv.org</a> , <a href="http://uapatents.com">http://uapatents.com</a>	Описи винаходів патентів України № 1–41000. Описи корисних моделей патентів України № 1–1050. Описи винаходів патентів Російської Федерації № 2000000–2140000.	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии и. М.: Химия, 1971.– 785 с. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической

			om, www.freepatent.ru/ http://www1.fips.ru/		технології. М.: Хімія, 1983.– 272 с.
--	--	--	---	--	--

Таблиця В.7 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Випарний апарат	Patent № US10035077 B2, Int. cl. B01D1/06; B01D1/30; F28B1/02; Falling film evaporator / Arvi Artamo (Espoo, FI); Pentti Juhola (Espoo, FI); Application Number: 13/822924; Publication Date: 07/31/2018	Діє
Випарний апарат	Patent № US2011/0226606 A1, Int. cl. B01D1/22; Falling film evaporator / Xiaogen Feng (Hangzhou City, CN); Nongyue Wang (Hangzhou City, CN); Xiaohui Mao (Lanxi City, CN); Ruibiao YU (Hangzhou City, CN); Qianwen Cheng (Shanghai, CN); Application Number: 12/900459; Publication Date: 09/22/2011	Діє
Випарний апарат	Патент № 91961 (UA), C13B 25/00; B01D 1/00 (2014.01); Випарний апарат/ Національний університет харчових технологій (UA); Заявка № u 2014 01366, 25.07.2014; Опубл. 25.07.2014; Бюл. №	Дію патенту припинено

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		206

	4.	
Випарний апарат	Патент № 89810 (UA), B01D 1/04 (2006.01); Випарний апарат з горизонтальними трубками / Лялька Г.О.; Лялька М.О. (UA); Заявка № у 2013 15303, 26.12.2013; Опубл. 25.04.2014; Бюл. № 8.	Дію патенту припинено
Випарний апарат	Патент № 107787 (UA), B01D 1/22 (2006.01); Випарний апарат / Бишко М.А.; Дахненко В.Л. (UA); Заявка № у 2015 11883, 01.12.2015; Опубл. 24.06.2016; Бюл. № 12.	Дію патенту припинено

Таблиця В.8 Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Випарний апарат	Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. /Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др/ под ред Ю. И Дытнерского.	М.: Химия, 1973.- 756 с
Випарний апарат	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты хим. технологии	М.: Химия, Москва 1971 – С.261

Висновок. У результаті проведеного патентного дослідження встановлено, що пропонований апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те, що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		207

**ДОДАТОК Г**  
**КОМП'ЮТЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБИЧАЙКИ**  
**АПАРАТА НА ДІЮ ВНУТРІШНЬОГО ТИСКУ**

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						208
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		



Г.1 Алгоритмічна схема розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки зображена на рисунку Г.1.

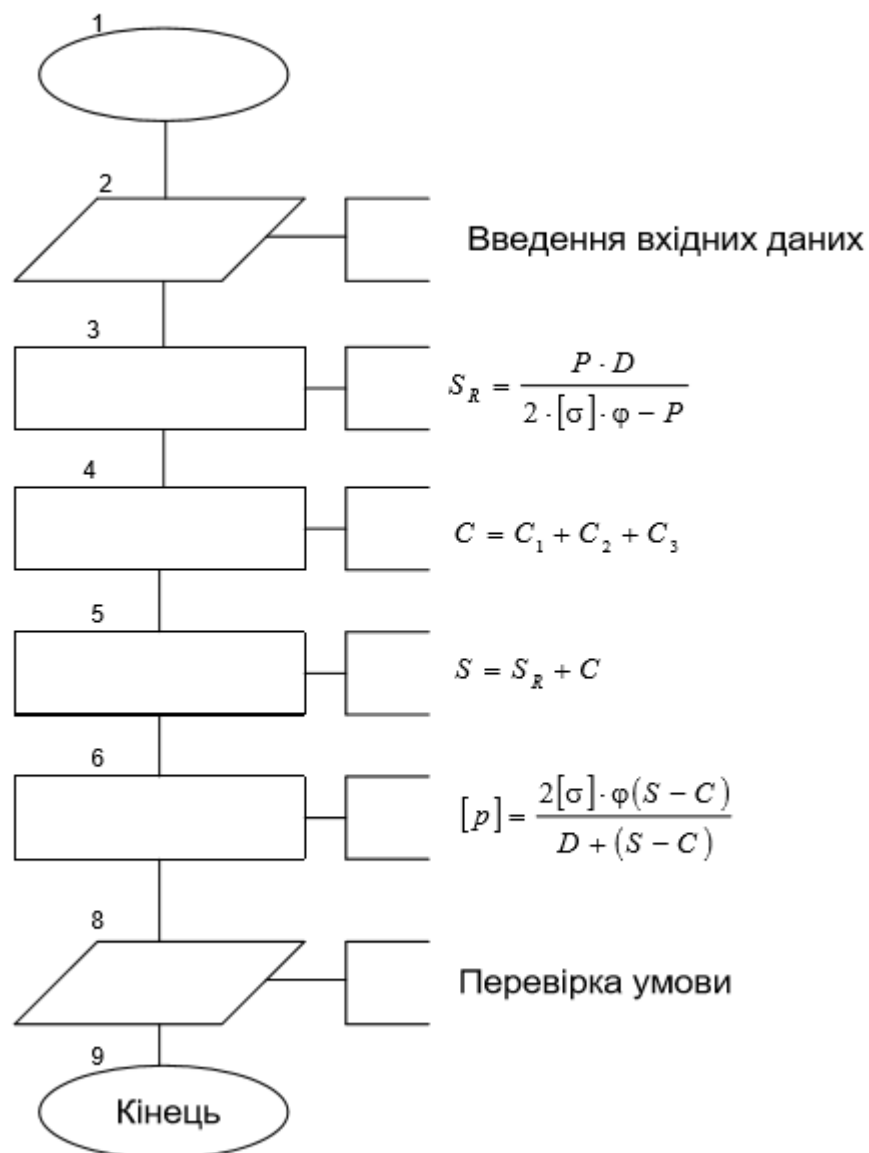


Рисунок Г.1 – Алгоритмічна схема розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки

Ідентифікатори програми розрахунку товщини циліндричної обичайки наведені в таблиці Г.1

Таблиця Г.1 – Перелік ідентифікаторів

Найменування величини	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
1	2	3	4
Діаметр апарата	$D$	$D_c$	м
Тиск	$p$	$p$	МПа
Температура середовища	$t$	$t$	°C
Допустиме напруження матеріалу обичайки	$[\sigma]$	$\sigma$	МПа
Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва	$\varphi_p$	$\varphi p$	-
Розрахункова товщина	$S_R$	$SR$	м
Додаток на компенсацію ерозії	$C_e$	$C_e$	м
Додаток на компенсацію корозії	$C_l$	$C_l$	м
Виконавча товщина стінки	$S_l$	$S_l$	м
Додаток на компенсацію на компенсацію мінусового допуску	$C_2$	$C_2$	м
Технологічний додаток	$C_3$	$C_3$	м
Сума додатків	$C$	$C$	м
Виконавча товщина	$S$	$S$	м

Комп'ютерний розрахунок циліндричної обичайки апарата на дію внутрішнього тиску.

Програма розрахунку товщини циліндричної обичайки

D, м

$D_c=2$

Тиск, МПа

$p=0.3$

Матеріал

Сталь 12X18H10T

Розрахункова середня температура

$t=303$

Для сталі марки 12Х18Н10Т за температури  $t=20^{\circ}\text{C}$  допустиме напруження  $[\sigma]=136,67\text{МПа}$

Для стикового шва, що виконується вручну автоматичним зварюванням з одного боку з флюсового або керамічної підкладкою, коли довжина контрольованих зварних швів становить 100% від загальної довжини  $\varphi p:=0,9$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки SR за ГОСТ 14249-89: м.

$$SR := (p \cdot D_c) / (2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi p - p) = 0.002442$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії  $C_e$ .

$$C_e := 0$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії.

$$C_1 := 0.0005$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки.

$$C_2 := 0.0008$$

$$C_3 := 0$$

$$S_1 := (SR + C_1 + C_2 + C_3) = 0.003742$$

Приймаємо що  $S:=0,004$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Сума додатків розрахункової товщини  $C$ .

$$C := C_1 + C_2 + C_3 = 0.0013$$

$$(S + C) / D_c = [0.00315] < 0.1$$

$$S > ((D_c / 1000) + 2.5 \cdot 10^{-3}) = 0.0045 \quad 0.006 > 0.0045$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск  $[p]$ .

$$p = (2 \cdot \sigma \cdot \varphi (S - C)) / D_c + S - C = 0.454 \quad \text{МПа}$$

$$p < [p]$$

$$p < [ [p] ]$$

$$0.3 < 0.454 \text{ МПа}$$

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						211
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		

Результати програмного розрахунку товщини циліндричної обичайки наведені в таблиці Г.2

Таблиця Г.2 – Результати програмного розрахунку

Найменування величини	Позначення	Числове значення	Розмірність
Розрахункова товщина	$S_R$	0,002442	м
Виконавча товщина	$S$	0,004	м
Допустимий тиск в апараті	$[p]$	0,454	МПа

Приймається виконавча товщина стінки  $S = 14$  мм.

**Додаток Д**  
**Патенти, які використані в патентному дослідженні**

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						213
Змн.	Арк.	№ докум.	Пілпис	Лат		

**Додаток Е**  
**Публікації автора**

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
						214
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		

## Список наукових праць

пошукача кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

### НОВІКОВОЇ ЮЛІЇ ПЕТРІВНИ

1. Модернізація установки глютамінової кислоти / Зубрій О.Г., Новікова Ю.П. // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXI всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ, 29 – 30 листопада 2017): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2017р. – Секція 1. –С. 52-53.
2. Модернізація реактора установки виробництва глютамінової кислоти / Зубрій О.Г., Новікова Ю.П.// «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання»: XIV всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ, 23 – 25 квітня 2018): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2018р. –Секція 1. –С. 52 – 53.
3. Модернізація установки виробництва глютамінової кислоти / Зубрій О.Г., Новікова Ю.П.// «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання»: XV всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ, 28 – 29 листопада 2018): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2018р. – Секція 1. –С. 60 – 61.
4. Новікова Ю. П., Зубрій О. Г. Вибір ферментеру для виробництва глютамінової кислоти // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — 2018. — №19. –С. 60 – 61.
3. Заявка 201802854 Україна Апарат з перемішуючим пристроєм / Зубрій О.Г., Новікова Ю.П. – u 201802854; заявл. 21.03.2015.

					ЛН71мп. 066715.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		215